

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
КАФЕДРА АЕРОКОСМІЧНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач випускної кафедри

_____ О.М. Тачиніна

«___» _____ 2020 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

(Пояснювальна записка)

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 151 «АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-
ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ»

Тема: «Система термостатування бортового обладнання релейного типу»

Виконавець: студент групи ФАЕТ–201М, Чернецький Ярослав Володимирович

Керівник: кандидат техн. наук, доцент, Безкорвайний Юрій Миколайович

Консультант розділу «Охорона праці»: _____
(підпис) (П.І.Б)

Консультант розділу
«Охорона навколишнього середовища»: _____
(підпис) (П.І.Б)

Нормоконтролер: _____
(підпис) (П.І.Б)

КИЇВ 2020

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій

Кафедра аерокосмічних систем управління

Напрямок освіти: 15 «Автоматизація та приладобудування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач випускної кафедри

_____ О.М. Тачиніна

«___» _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи

Чернецького Ярослава Володимировича

1. Тема роботи «Система термостатування бортового обладнання релейного типу» затверджена наказом ректора від «08» жовтня 2020 р. №1944/ст.
2. Термін виконання роботи: з 5 жовтня 2020 року по 27 грудня 2020 року
3. Вихідні дані роботи: максимальна допустима потужність системи термостатування, технічні характеристики елемента Пельтьє TEC1-12712, температурний режим приладу та його масогабаритні характеристики.
4. Зміст пояснювальної записки: аналітичний огляд літературних джерел та статей з тематики диплому. Розробка закону керування системи термостатування та проведення імітаційного моделювання з подальшими висновками, щодо працездатності, ефективності та роботи отриманої системи.
5. Перелік обов'язкового ілюстративного матеріалу: таблиці, рисунки, графіки.

6. Календарний план-графік

№ з/п	Завдання	Термін виконання	Підпис керівника
1	Розробити деталізований зміст розділів диплому	05.10.2020-10.10.2020	
2	Вступ	11.10.2020-16.10.2020	
3	Розділ 1. Елемент Пельтьє	17.10.2020-31.10.2020	
4	Розділ 2. Електричний нагрівальний елемент	01.11.2020-08.11.2020	
5	Розділ 3. Релейний терморегулятор	09.11.2020-04.12.2020	
6	Усунення недоліків дипломної роботи	05.12.2020-07.12.2020	
7	Оформлення дипломної роботи	07.12.2020-11.12.2020	

7. Консультація з окремих розділів

Назва розділу	Консультант (посада, П.І.Б.)	Підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Розділ 4. Охорона праці			
Розділ 5. Охорона навколишнього середовища			

8. Дата видачі завдання: 5 вересня 2020 року

Керівник дипломної роботи:

_____ (підпис керівника)

Безкоровайний Ю.М.

Завдання прийняв до виконання:

_____ (підпис випускника)

Чернецький Я.В.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Система термостатування бортового обладнання релейного типу»: 100 с., 36 рис., 12 табл., 37 літературних джерел.

Об'єкт дослідження: процес термостабілізації бортового обладнання.

Мета роботи: розробка закону керування системи термостатування бортового обладнання релейного типу.

Методи дослідження: математичне моделювання, імітаційне моделювання, програмування на комп'ютері, обробка результатів розрахунків, аналіз результатів моделювання, порівняльний аналіз, обробка літературних джерел.

ЕЛЕМЕНТ ПЕЛЬТЬЄ, ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИЙ ЕЛЕМЕНТ, ЕФЕКТ ПЕЛЬТЬЄ, НАПІВПРОВІДНИК, ТЕРМОСТАТУВАННЯ, ТЕРМОСТАБІЛІЗАЦІЯ, ТЕРМОРЕГУЛЯТОР.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 ЕЛЕМЕНТ ПЕЛЬТЬЄ.....	11
1.1 Принцип дії елемента Пельтьє.....	11
1.2 Переваги та недоліки елементів Пельтьє.....	28
1.3 Застосування елементів Пельтьє.....	33
РОЗДІЛ 2. ЕЛЕКТРИЧНИЙ НАГРІВАЛЬНИЙ ЕЛЕМЕНТ.....	43
2.1 Принцип дії.....	43
2.1 Види нагрівачів та особливості їх застосування.....	47
2.3 Розрахунок ніхромового спірального нагрівача.....	57
РОЗДІЛ 3. РЕЛЕЙНИЙ ТЕРМОРЕГУЛЯТОР.....	63
3.1 Визначення закону керування релейного терморегулятора.....	63
3.2 Математична модель терморегуляції приладу.....	66
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	73
4.1 Аналіз проблем впливу системи термостатування на стан довкілля.....	73
4.2 Аналіз основних джерел впливу та їх наслідків на людину та її оточення.....	78
4.3 Висновок.....	83
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	85
5.1 Суб'єкти та об'єкти охорони праці при роботі системою термостатування бортового обладнання.....	85
5.2 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори при роботі з при роботі системою термостатування бортового обладнання.....	85
5.3 Організаційні та технічні заходи щодо зниження впливу небезпечних факторів.....	86
5.4 Забезпечення пожежної безпеки.....	89
5.5 Висновок.....	91
ВИСНОВОК.....	92
СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	93
ДОДАТКИ.....	96
Лістинг програми моделювання.....	96
Лістинг підпрограми системи керування термостатом.....	98
Лістинг підпрограми моделі спірального нагрівача.....	99
Лістинг підпрограми моделі елемента Пельтьє.....	99
Лістинг підпрограми моделі тепловиділення обладнання.....	99
Лістинг підпрограми моделі теплового переносу.....	100

ВСТУП

В даний час безперервне вдосконалення авіаційної та аерокосмічної техніки нерозривно пов'язано з пошуком нових підходів до питань створення систем, що забезпечують якісне і надійне функціонування на системи автоматичного керування літальними апаратами. Кожного дня з'являються нові або модифікуються уже відомі методи вирішення завдань покладених на ці важливі системи, що зменшують навантаження на пілотів літальних апаратів. Проте із розвитком даних систем збільшується не тільки їх потужність, а й присутність в них сучасних високопродуктивних електронних компонентів, що складають основу цих систем. Робота таких компонентів супроводжується значним виділенням тепла, особливо при їх експлуатації у стресових режимах роботи. Зокрема, відомо, що істотний вплив на якість роботи, точність показань і працездатність більшості авіаційних систем мають потужні теплові навантаження і збурення від зовнішніх і внутрішніх джерел енергії на борту літального апарату. Максимально допустима температура в відсіках залежить від граничних робочих температур обладнання та апаратури. Підвищення температури у відсіках порушує роботу бортових систем і вимагає для забезпечення їх нормальної роботи ускладнення конструкцій або заміну цих систем системами іншого типу. Тому, щоб виключити можливість виходу з ладу бортових систем в їх технічних характеристиках зазначаються температурні режими та діапазони при яких вони можуть коректно працювати.

Ефективна робота таких систем вимагає адекватних засобів термостабілізації, які забезпечують необхідні температурні режими їх роботи. Окрім засобів термостабілізації можливе застосування конструктивних способів, які включають в себе застосування тепловідводу і компоновання основних складових елементів систем. Розглянуті існуючі методи термостабілізації, показують що одних лише конструктивних і компенсаційних методів недостатньо

Кафедра АКСУ			НАУ 20 15 77 000 ПЗ			
Виконав	Чернецький Я.В.		ВСТУП	Літера	Аркуш	Аркушів
Керівник	Безкорвайний Ю.М.				6	100
Консульт.	Безкорвайний Ю.М.			151-201М		
Н-контроль	Дивнич М.П.					
Зав. Каф.	Тачиніна О.М.					

для досягнення необхідних точностей і режимів роботи бортових систем, необхідно створювати окремі системи, що будуть забезпечувати термостакування всього бортового обладнання за будь-яких умов.

В роботі Бермана З.М., Канушіна В.М., Миронова Ю.В., Мохова В.П., Шаригіна В.П., Шаригіна В.І. [1] для підтримки необхідного рівня температур в навігаційних системах на основі поплавкових гіроскопів застосовується реверсивна система термостабілізації на основі термоелектричних модулів.

В роботі Д.С. Громова [2] застосовується реверсивна система термостатування і теплового захисту волоконно-оптичного гіроскопу в складі безплатформеної інерціальної навігаційної системи, основними виконавчими елементами якої є термоелектричні модулі, тепловіддача від яких забезпечується за допомогою радіаторів встановлених на робочих поверхнях модулів. Докладно описується та розглядається даний метод термостабілізації, вибрані термоелектричні модулі та датчики температур, розраховані геометричні параметри радіаторів для інтенсифікації теплообміну.

В аерокосмічній галузі до числа перспективних систем термостатування відносяться вихрові пневматичні холодильно-нагрівальні пристрої, в основі функціонування яких лежить вихровий ефект енергетичного поділу газів [3,4]. Найбільш характерними параметрами вихрових систем термостатування (ВСТ) є надійність і ресурс, за якими вони значно перевершують інші типи систем.

Проте однією з істотних проблем, що обмежують ефективне застосування ВСТ, є те, що існуючі розрахунки засновані на фіксованих значеннях геометричних параметрів вихрових труб, що істотно обмежує діапазон режимів польоту літального апарату, при яких досягається необхідний рівень термостатування. Тому розробка ВСТ з регульованими геометричними параметрами вихрових труб і методик розрахунку характеристик ВСТ є дуже складним і дорогим процесом.

Розглянуті існуючі методи термостатування, показують що одних лише конструктивних і компенсаційних методів недостатньо для досягнення необхідних точностей і режимів роботи систем.

Будь-яка система термостабілізації на літальному апараті повинна задовольняти основним вимогам: забезпечувати нагрів або відведення тепла при невеликій масі і можливо меншій витраті потужності на роботу самої системи, бути безпечною та надійною. Виняткова простота пристрою, надійність в експлуатації і мала вага термоелектричних елементів Пельтьє при наявності перепаду температур на його сторонах дають можливість використання ефекту Пельтьє для отримання холоду на борту літака.

В статі Чеснокова Б.П., Карпова М.В., Наумовой О.В., Мещерякова М.А. [5] досліджується проблема вдосконалення систем охолодження на основі термоелектрики. Для цих була розроблена експериментальна установка, яка, на думку авторів, дозволить вивчати процес термоелектричного охолодження, заснованого на ефекті Пельтьє при проведенні наукових досліджень. Як джерело холоду автори статті пропонують застосовувати пристрій для прямого перетворення електричної енергії на основі ефекту Пельтьє з використанням напівпровідників марки TEC1-12712, з'єднаних між собою послідовно. Також в цьому дослідженні виявляються і детально вивчаються основні технічні характеристики елемента. Основний текст статті супроводжується ілюстративними матеріалами - схемою напівпровідникового термоелектричного перетворювача і загального вигляду експериментальної установки з позначенням її складових частин.

В статі О.В. Белова, А.В. Чернышева [6] проводиться математичне моделювання фізичних процесів, а саме теплових джерел у виконавчих пристроях створених на базі термоелектричних елементів Пельтьє, які працюють в динамічному режимі. Представлена методика дозволяє чисельно моделювати теплові джерела в диференціальній формі, з мінімальними припущеннями, з можливістю врахування температурних залежностей властивостей напівпровідникових матеріалів.

В роботі Гринкевича В.А [7] проводиться дослідження математичної моделі термостату на основі елемента Пельтьє. В роботі зазначається, що застосування елемента Пельтьє дозволяє забезпечити температуру в термостаті як вище, так і

нижче температури навколишнього середовища на відміну від резистивних нагрівальних елементів. Такі термостати застосовуються для термостатування приладів із зарядним зв'язком в цифрових фотоапаратах, лазерах, електронних компонентах. У роботі розглядається побудова математичної моделі і чисельне моделювання температурних процесів в термостаті на основі елемента Пельтьє без регулятора. У порівнянні з іншими відомими математичними моделями запропонована модель більш повно враховує явища в термостаті, а також враховує процеси теплообміну з навколишнім середовищем, що дозволяє точніше описувати температурні процеси в термостаті.

Проаналізувавши вище перераховані роботи присвячені системам термостатування можна сказати, що всі вони є унікальними і їх використання є обґрунтованим. Але на сьогоднішній день існує безліч систем термостатування бортового обладнання за допомогою яких можна підтримувати температуру об'єктів в заданому діапазоні з різною точністю і швидкістю, більшість з яких мають значні витрати потужності на власну роботу та вимагають додаткових конструктивних рішень під час їх встановлення. Саме це і підтверджує актуальність і доцільність даної роботи в якій виконується розробка більш ефективної системи термостатування.

Жодна з проаналізованих систем в основі своєї роботи не використовує ефект Пельтьє, який відкриває широкі можливості при їх розробці. Завдяки своїм унікальним тепловим і експлуатаційним властивостям системи термостатування бортового обладнання релейного типу, створені на основі термоелектричних елементів Пельтьє, дозволять з легкістю досягти необхідного температурного режиму без особливих технічних труднощів і фінансових витрат. До того ж дані системи мають досить малі розміри та вагу, що є важливим під час компонування літальних апаратів.

Метою виконання дипломного проекту є розробка закону керування ефективною, малогабаритною та конкурентоспроможною системою термостатування бортового обладнання на базі елементів Пельтьє, що забезпечить досить велику надійність та безпеку на борту літального апарату.

Об'єктом дослідження виступає процес термостабілізації обладнання на борту літального апарату, а предметом дослідження – система термостатування бортового обладнання релейного типу.

РОЗДІЛ 1 ЕЛЕМЕНТ ПЕЛЬТЬЄ

1.1 Принцип дії елемента Пельтьє

В основі роботи елемента Пельтьє лежить так званий термоелектричний ефект Пельтьє, що демонструє зв'язок між різницею температур і електричним потенціалом [8].

Ефект Пельтьє – термоелектричне явище, при якому відбувається виділення або поглинання тепла при проходженні електричного струму в місці контакту (спаю) двох різнорідних провідників. Даний ефект був відкритий французьким вченим Жаном-Шарлем Пельтьє в 1834 році.

Вчений продемонстрував відкрите ним явище на наступному, витонченому досліді. Дві смужки з стибію (Sb) A B і бісмуту (Bi) C D були спаяні вигляді хреста, який отримав назву «Хрест Пельтьє» (рис. 1.1).

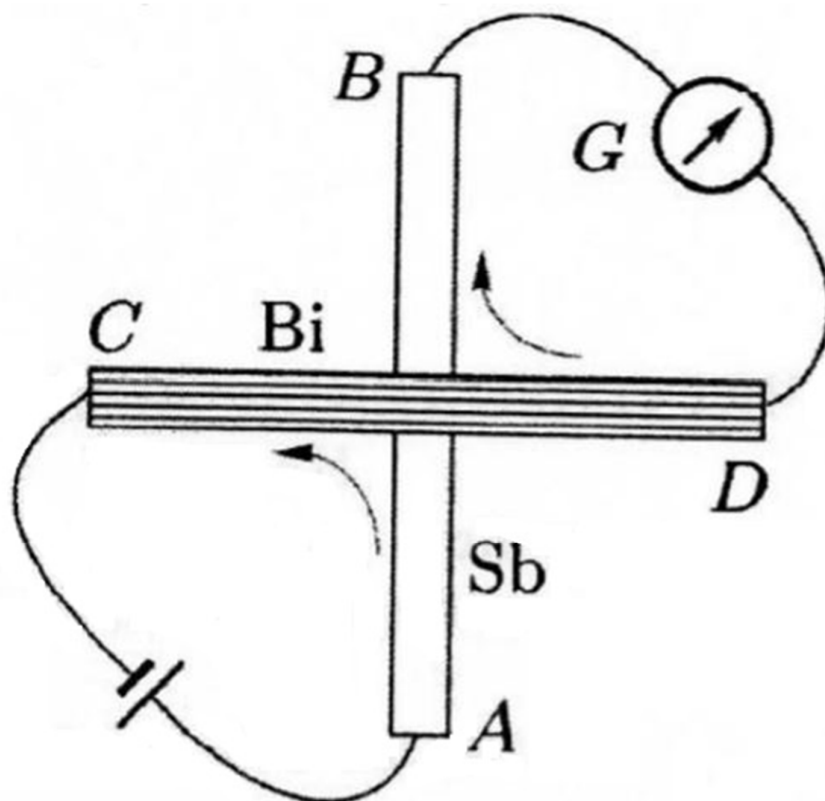


Рис. 1.1 Хрест Пельтьє

Кафедра АКСУ			НАУ 20 15 77 000 ПЗ			
Виконав	Чернецький Я.В.		ЕЛЕМЕНТ ПЕЛЬТЬЄ	Літера	Аркуш	Аркушів
Керівник	Безкорвайний Ю.М.				11	100
Консульт.	Безкорвайний Ю.М.			151-201М		
Н-контроль	Дивнич М.П.					
Зав. Каф.	Тачиніна О.М.					

До кінців А і С можна було приєднати батарею, а до кінців В і D – гальванометр G. При пропусканні електричного струму від батареї в напрямку від стибію до бісмуту спай нагрівався. Після цього батарея відключалася і приєднувався гальванометр G. Останній виявляв струм в напрямку від стибію до бісмуту, тобто в напрямку, протилежному до вихідного струму від батареї. Якщо повторити дослід, пропускаючи струм від батареї в протилежному напрямку, то спай охолоджується, а струм через гальванометр змінює напрямок на протилежний.

Проте Пельтьє не розумів в повній мірі сутність і важливість відкритого ним явища. Сутність самого явища досліджував декількома роками пізніше в 1838 році російський вчений Ленц Емілій Христіанович, який провів експеримент, в якому він помістив краплю води в поглиблення на стику двох стрижнів з стибію і бісмуту. При пропусканні електричного струму в одному напрямі крапля перетворювалася в лід, а при зміні напрямку струму – лід танув, що дозволило встановити, що в залежності від напрямку струму, що протікає експерименті, крім джоулевого тепла виділяється або поглинається додаткове тепло, яке отримало назву тепла Пельтьє [9].

Класична теорія пояснює явище Пельтьє тим, що електрони, що переносяться струмом з одного металу в інший, прискорюються або сповільнюються під дією внутрішньої контактної різниці потенціалів між металами.

У першому випадку кінетична енергія електронів збільшується, а потім виділяється в першому провіднику у вигляді тепла. У другому випадку кінетична енергія електронів зменшується і цей спад енергії поповнюється за рахунок теплових коливань атомів другого провідника в результаті чого відбувається охолодження другого провідника.

Найбільш сильно ефект Пельтьє спостерігається в разі використання напівпровідників р- і n-типу провідності. Залежно від напрямку електричного струму через контакт напівпровідників різного типу – р-n- і n-p – переходів внаслідок взаємодії зарядів, представлених електронами (n) і дірками (p), їх

рекомбінаційна енергія або поглинається, або виділяється. В результаті даних взаємодій і породжених енергетичних процесів тепло або поглинається, або виділяється (рис 1.2).

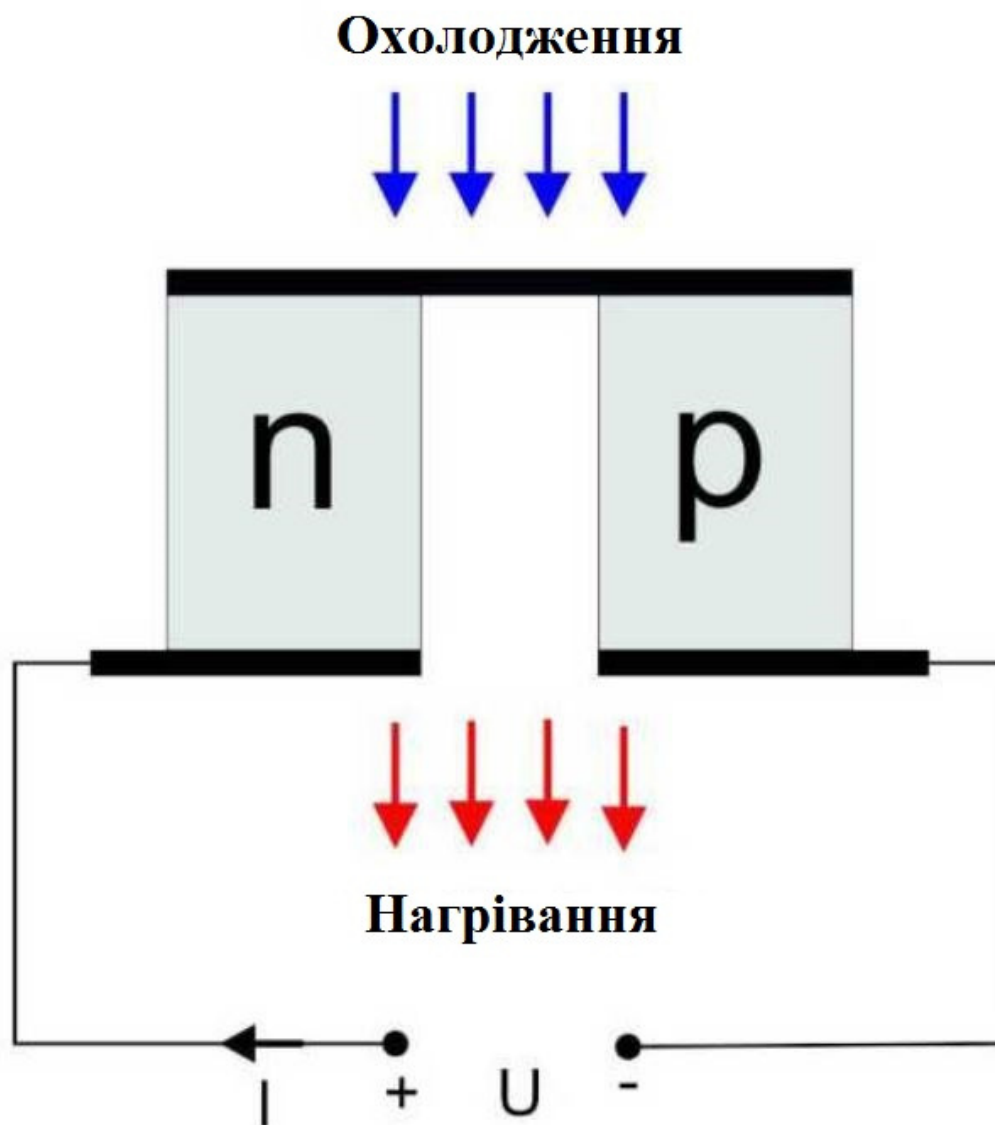


Рис. 1.2. Ілюстрація ефекту Пельтьє

Іншими словами при пропусканні через термопару струму, відбувається поглинання тепла на контакті n-p і виділення тепла на p-n контакті. В результаті, ділянка напівпровідника, що примикає до n-p переходу, буде охолоджуватися, а протилежна ділянка – нагріватися. Якщо ж змінити полярність струму, то навпаки, n-p ділянка буде нагріватися, а протилежна – охолоджуватися.

Використання напівпровідників р- і n-типу провідності можна продемонструвати наступним рисунком (рис. 1.3):

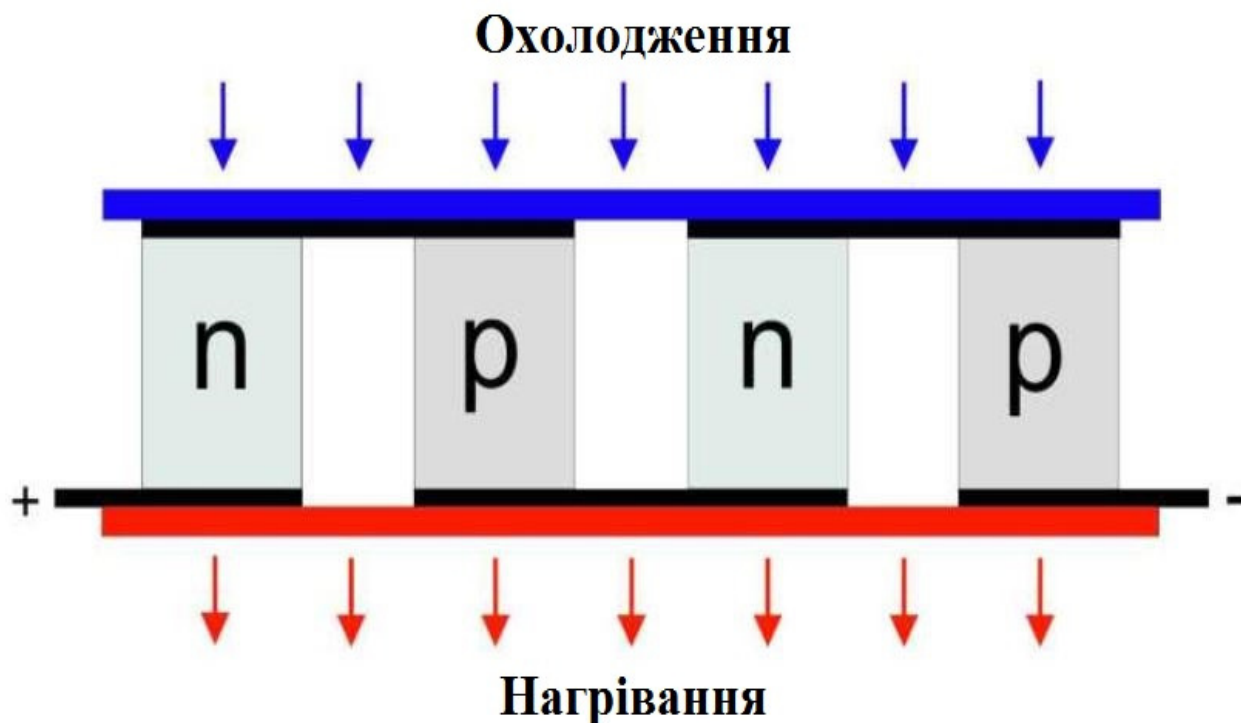


Рис. 1.3. Використання напівпровідників р- і n-типу провідності

Також існує і зворотний ефект до ефекту Пельтьє, так званий ефект Зеєбека – це явище виникнення ЕРС на кінцях послідовно з'єднаних різнорідних провідників, контакти між якими знаходяться при різних температурах. Тобто при нагріванні однієї зі сторін термопар, виробляється електричний струм [10].

Для практичного застосування енергії поглинання тепла однієї термопарі недостатньо. У термоелектричному модулі використовується багато термопар. Електрично їх з'єднують послідовно. А конструктивно – так, що охолоджуючі і нагріваючі переходи розташовані на різних сторонах модуля. Об'єднання великої кількості пар напівпровідників р- і n-типу дозволяє створювати охолоджуючі елементи – модулі Пельтьє порівняно великої потужності. Структура напівпровідникового термоелектричного елемента Пельтьє представлена на (рис. 1.4). Термопарі встановлені між двох керамічних пластин. З'єднуються вони мідними шинами. Кількість термопар може доходити до декількох сотень. Від їх кількості залежить потужність модуля.



Рис. 1.4. Структура елемента Пельтьє

Виходячи з даного зображення елемент Пельтьє можна назвати термоелектричним холодильником, що складається з послідовно з'єднаних напівпровідників р- і n-типу, що утворюють р-n- і n-p-переходи. Кожен з таких переходів має тепловий контакт з одним з двох радіаторів. В результаті проходження електричного струму певної полярності утворюється перепад температур між керамічними пластинами елемента Пельтьє: одна пластина працює як холодильник, а інша керамічна пластина нагрівається і служить для відводу тепла.

Якщо ж більш поглиблено дослідити дію ефекта Пельтьє, можна побачити, що в місці контакту двох речовин є контактна різниця потенціалів, яка породжує контактне електричне поле між ними. Якщо через цей контакт пропустити електричний струм, то це поле буде або допомагати проходженню струму, або перешкоджати йому. Тому, якщо струм направлений проти вектора напруженості контактного поля, то джерело ЕРС що прикладається повинно здійснити роботу, і енергія джерела виділиться в місці контакту, що призведе до його нагрівання.

Якщо ж струм джерела буде направлений по вектору напруженості контактного поля, то він додатково підтримується цим внутрішнім електричним полем, і тепер поле зробить додаткову роботу по переміщенню зарядів. Ця енергія відбирається у речовини, що в дійсності і призводить до охолодження місця спаю.

Самі ж напівпровідники відрізняються рівнями енергій електронів в зоні провідності. При проходженні електрона через місце контакту цих матеріалів, електрон набуває енергію, щоб зуміти перейти в більш високоенергетичну зону провідності іншого напівпровідника пари [10].

При поглинанні електронем цієї енергії відбувається охолодження місця контакту напівпровідників. При протіканні струму в зворотному напрямку відбувається нагрівання місця контакту напівпровідників, додатково до звичайного джоулевого тепла. Якби замість напівпровідників в елементах Пельтьє використовувалися чисті метали, то парний ефект виявився б настільки малий, що омічний нагрів значно б перевершив його.

Типовий елемент Пельтьє (рис 1.5) забезпечує значний температурний перепад і різниця температур між гарячою і холодною стороною модуля Пельтьє може досягати 70 °С.

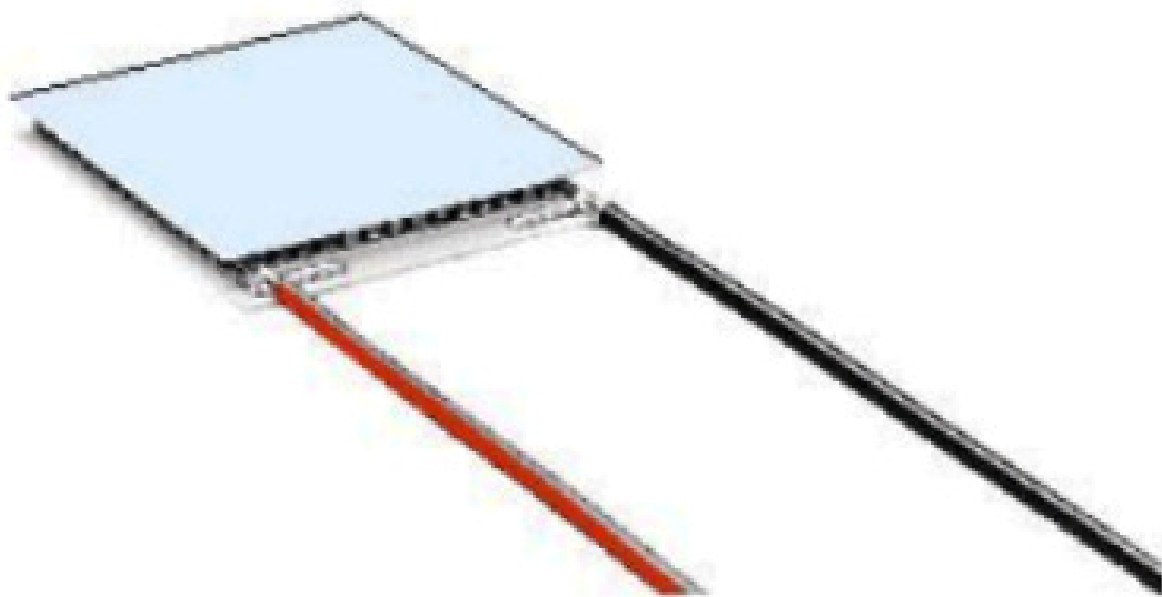


Рис. 1.5 Зовнішній вигляд елемента Пельтьє

Треба розуміти, що термоелектричний елемент Пельтьє знижує температуру одного боку, щодо іншої. Тобто щоб холодна сторона мала низьку температуру, необхідно відводити тепло від гарячої поверхні, знижуючи її температуру.

Для збільшення різниці температур можливе каскадне включення термоелектричних елементів Пельтьє при забезпеченні адекватного їх охолодження. Це дозволить порівняно простими засобами отримати значний перепад температур і забезпечити ефективне охолодження елементів або систем. На (рис. 1.6) представлений приклад каскадного включення типових елементів Пельтьє [17].

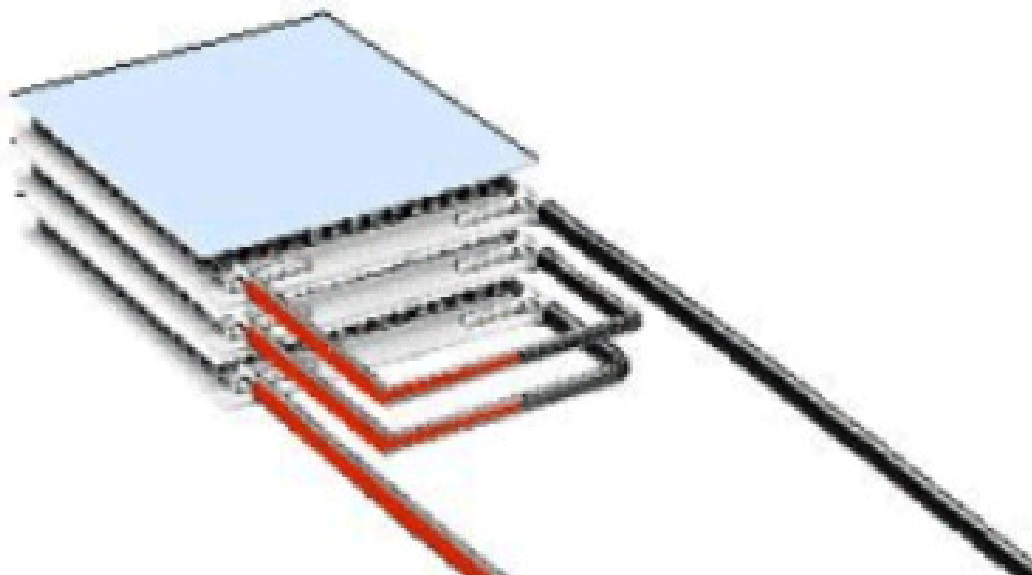


Рис. 1.6. Типове каскадне включення елементів Пельтьє

Як вже зазначалося вище в даному розділі при пропусканні електричного струму I через контакт (спай) двох різних речовин (провідників або напівпровідників) на контакті, крім джоулевого тепла, відбувається виділення додаткового тепла Пельтьє Q_P при одному напрямку струму і його поглинання при зворотному напрямку.

Величина тепла, що виділяється Q_P і його знак залежать від виду контактуючих речовин, сили струму і часу його проходження.

$$dQ_P = \pi_{12} I dt, \quad (1.1)$$

де $\pi_{12} = \pi_1 - \pi_2$ – коефіцієнт Пельтьє для даного контакту, пов'язаний з абсолютними коефіцієнтами Пельтьє π_1 і π_2 матеріалів, які контактують між собою.

При цьому вважається, що струм йде від першого зразка до другого. При виділенні тепла Пельтьє маємо:

$$Q_P > 0, \quad \pi_{12} > 0, \quad \pi_1 > \pi_2. \quad (1.2)$$

При поглинанні тепла Пельтьє воно вважається негативним і відповідно маємо:

$$Q_P < 0, \quad \pi_{12} < 0, \quad \pi_1 < \pi_2. \quad (1.3)$$

Очевидно, що

$$\pi_{12} = -\pi_{21}. \quad (1.4)$$

Розмірність коефіцієнта Пельтьє відповідно до міжнародної системи одиниць фізичних величин (СІ)

$$[\pi]_{\text{СІ}} = \left[\frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} \right] = \text{В}. \quad (1.5)$$

Замість тепла Пельтьє часто використовують фізичну величину, яка визначається як теплова енергія, яка щомиті виділяється на контактній площі. Ця величина, що отримала назву – потужність тепловиділення, визначається наступною формулою:

$$q_P = \pi_{12} j, \quad (1.6)$$

де $j = I/S$ – густина або щільність електричного струму, S – площа контакту.

Розмірність даної величини

$$[q_P]_{\text{СІ}} = \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}. \quad (1.7)$$

Із законів термодинаміки випливає, що коефіцієнт Пельтьє і коефіцієнт термоелектрорушійної сили α пов'язані співвідношенням:

$$\pi = \alpha T, \quad (1.8)$$

де T – абсолютна температура контакту.

Коефіцієнт Пельтьє, є важливою технічною характеристикою матеріалів який, як правило, не вимірюється, а обчислюється за коефіцієнтом термоелектрорушійної сили, вимірювання якої є більш простим.

На (рис. 1.7) і (рис. 1.8) зображений замкнутий ланцюг, складений з двох різних напівпровідників ПП₁ і ПП₂ з контактами А і В.

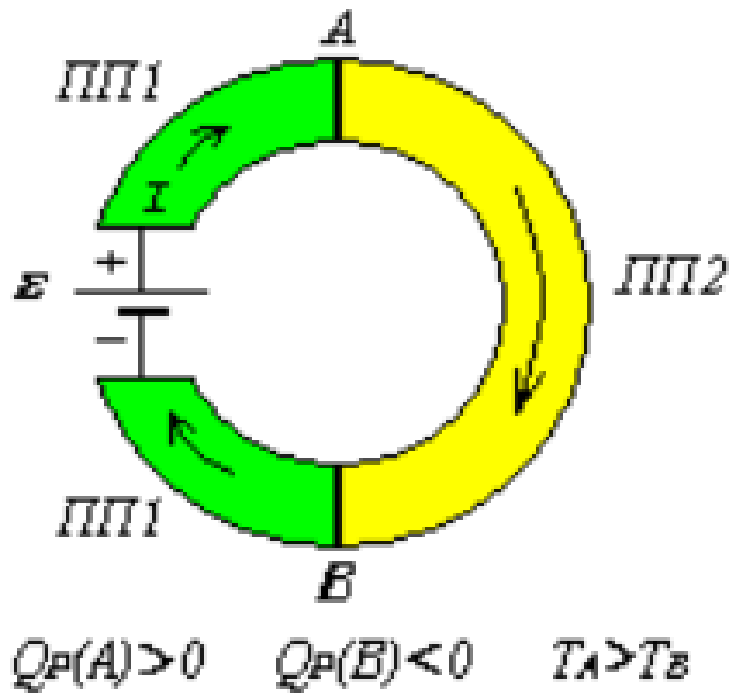


Рис. 1.7. Виділення тепла Пельтьє

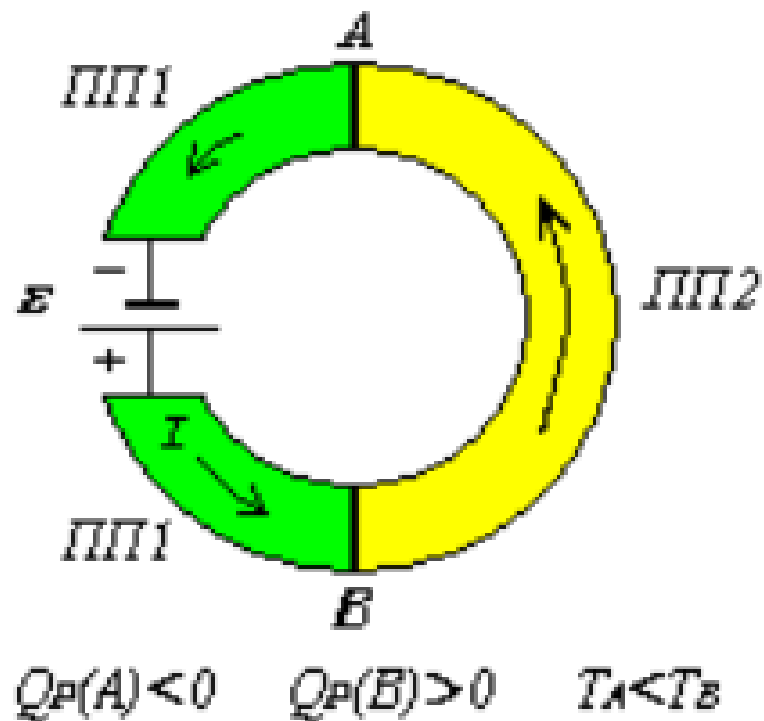


Рис. 1.8. Поглинання тепла Пельтьє

Такий ланцюг, прийнято називати термоелементом, а його кінці – термоелектродами. Через даний ланцюг протікає струм I , створений зовнішнім джерелом ε .

Рис. 1.7 демонструє ситуацію, коли на контакті А відбувається виділення тепла Пельтьє

$$Q_P(A) > 0, \quad (1.8)$$

тобто струм протікає від ПП₁ до ПП₂, а на контакті В його поглинання

$$Q_P(B) < 0, \quad (1.9)$$

тобто струм направлений від ПП₂ до ПП₁. В результаті відбувається зміна температур спаїв:

$$T_A > T_B. \quad (1.10)$$

На рис. 1.8 зміна полярності джерела змінює напрямок струму на протилежний: від ПП₂ до ПП₁ на контакті А і від ПП₁ до ПП₂ на контакті В. Відповідно змінюється знак тепла Пельтьє і співвідношення між температурами контактів:

$$Q_P(A) < 0, \quad Q_P(B) > 0, \quad T_A > T_B. \quad (1.11)$$

Причина виникнення ефекту Пельтьє на контакті напівпровідників з однаковим видом носіїв струму (два напівпровідника n-типу або два напівпровідника p-типу) така ж, як і в разі контакту двох металевих провідників. Носії струму (електрони або дірки) по різні боки спаю мають різну середню енергію, яка залежить від багатьох причин: енергетичного спектру, концентрації, механізму розсіювання носіїв заряду. Якщо носії, пройшовши через спай, потрапляють в область з меншою енергією, вони передають надлишок енергії кристалічній решітці, в результаті чого поблизу контакту відбувається виділення теплоти Пельтьє

$$Q_P > 0 \quad (1.12)$$

і температура контакту підвищується. При цьому на іншому спаї носії, переходячи в область з більшою енергією, запозичують відсутню енергію від решітки, відбувається поглинання теплоти Пельтьє

$$Q_P < 0 \quad (1.13)$$

і зниження температури.

Ефект Пельтьє, як і всі термоелектричні явища, особливо сильно виражений в ланцюгах, складених з електронних (n-тип) і діркових (p-тип) напівпровідників. В цьому випадку ефект Пельтьє має інше пояснення. Розглянемо ситуацію, коли струм в контакті йде від діркового напівпровідника до електронного ($p \rightarrow n$). При цьому електрони і дірки рухаються назустріч один одному і, зустрівшись, рекомбінують. В результаті рекомбінації звільняється енергія, яка виділяється у вигляді тепла. [11]

Ця ситуація продемонстрована на (рис. 1.9), де зображені енергетичні зони (ϵ_C – зона провідності, ϵ_V – валентна зона) для домішкових напівпровідників з дірковою і електронною провідністю.

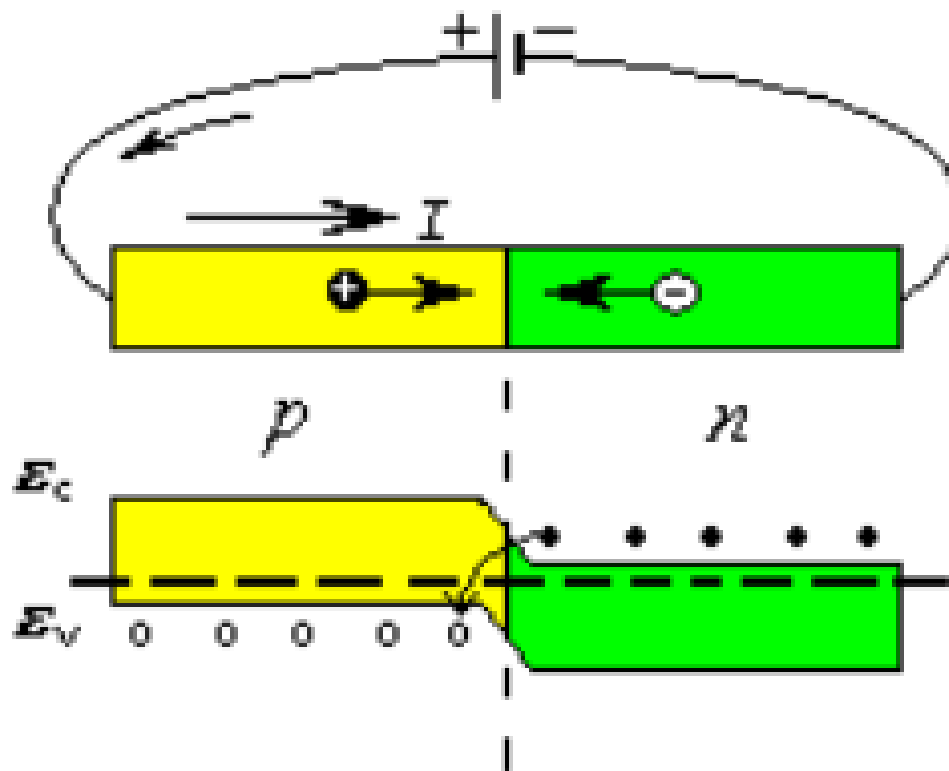


Рис. 1.9. Виділення тепла Пельтьє на контакті напівпровідників p і n-типу

На наступному (рис. 1.10) (ϵ_C – зона провідності, ϵ_V – валентна зона) демонструється поглинання тепла Пельтьє для випадків, коли струм протікає від n до p-напівпровіднику ($n \rightarrow p$).

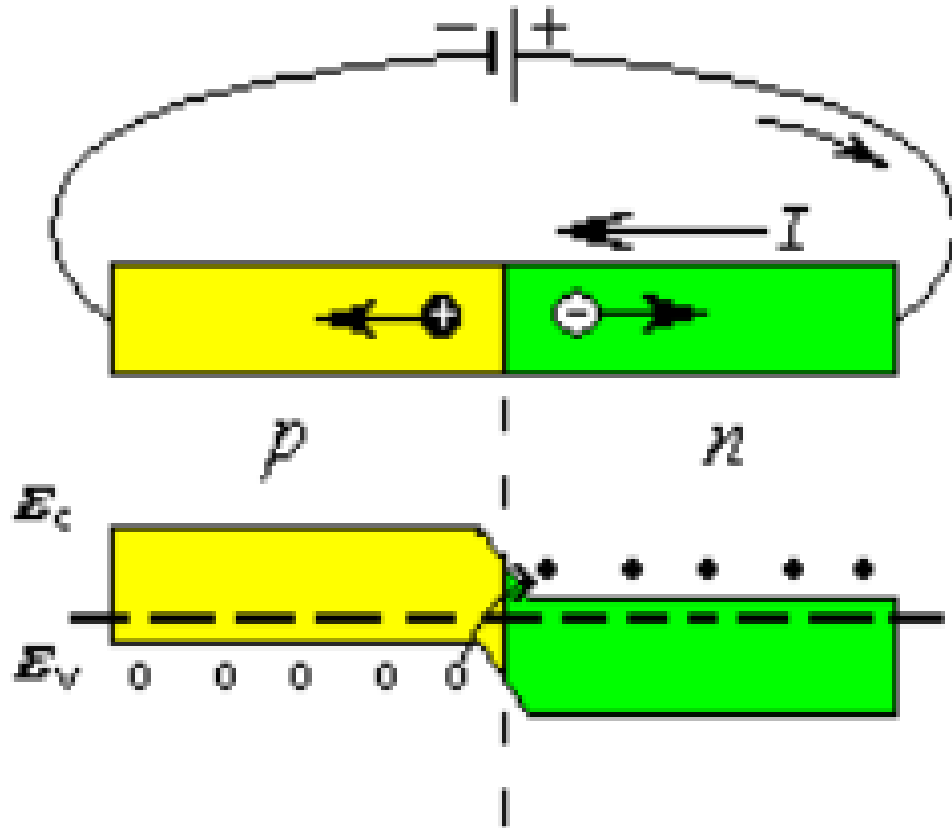


Рис. 1.10. Поглинання тепла Пельтьє на контакті напівпровідників р і n-типу

Тут електрони в електронному та дірки в дірковому напівпровідниках рухаються в протилежні сторони, йдучи від меж напівпровідника. Спад носіїв струму в цій області заповнюється за рахунок попарного утворення електронів і дірок. На створення таких пар потрібна енергія, яка надходить з теплових коливань атомів решітки. Утворені електрони і дірки захоплюються в протилежні сторони електричним полем. Тому поки через контакт йде струм, безперервно відбувається утворення нових пар. В результаті на контакті тепло буде поглинатися.

Для того, щоб ефект Пельтьє був помітний на тлі загального розігріву, пов'язаного з виділенням тепла Джоуля-Ленца, необхідне виконання умови:

$$Q_P > Q_{Дж}. \quad (1.14)$$

В результаті необхідно враховувати такі співвідношення при проведенні експериментів:

$$I \leq \frac{\pi_{12}}{R}; \quad j \leq \frac{\pi_{12}}{l\rho}, \quad (1.15)$$

де R – опір ділянки термоелектрону довжини l , на якому відбувається виділення тепла; ρ – питомий опір.

Коефіцієнт Пельтьє визначає кількість тепла Пельтьє, що виділяється на контакті і залежить від природи контактуючих речовин і температури контакту:

$$\pi_{12} = \alpha_{12}T = (\alpha_1 - \alpha_2)T, \quad (1.16)$$

де α_1 і α_2 абсолютні коефіцієнти термоелектрорушійної сили контактуючих речовин. Якщо для більшості пар металів коефіцієнт термоелектрорушійна сила має порядок $10^{-5} \dots 10^{-4}$ В/К, то для напівпровідників він може виявитися набагато більшим, приблизно $1.5 \cdot 10^{-3}$ В/К. Для напівпровідників з різним типом провідності α має різні знаки, внаслідок чого:

$$\alpha_{12} = \alpha_1 + \alpha_2. \quad (1.17)$$

Необхідно відзначити, що коефіцієнт термоелектрорушійної сили складним чином залежить від складу і температури напівпровідника, при цьому, в порівнянні з металами температурна залежність α для напівпровідників виражена значно сильніше. Знак α визначається знаком носіїв заряду. Не існує загальних емпіричних, і тим більше, теоретичних формул, які охоплювали б термоелектричні властивості напівпровідників в широкому інтервалі температур. Зазвичай термоелектрорушійна сила α напівпровідниках, починаючи зі значення $\alpha = 0$ при $T = 0$, спочатку пропорційно зростає T , а потім більш повільно і часто залишається постійною в деякому інтервалі температур, а в області високих температур понад 500К ... 700К починає спадати за законом

$$\alpha \sim \frac{1}{T}. \quad (1.18)$$

Іншою відмінною рисою напівпровідників є визначальна роль домішок, введення яких дозволяє не тільки в багато разів змінювати величину α , але й змінювати її знак на протилежний. [11]

У напівпровідниках із змішаною провідністю вклади в термоелектрорушійну силу дірок і електронів протилежні, що призводить до малої величині α і π .

В окремому випадку, коли концентрації n і рухливості u електронів і дірок рівні

$$n_e = n_p \quad \text{і} \quad u_e = u_p \quad (1.19)$$

величини α і π прямують до нуля

$$\alpha \sim \frac{(n_e u_e - n_p u_p)}{(n_e u_e + n_p u_p)} \quad (1.20)$$

Розглянемо основні параметри термоелектричних елементів Пельтьє на прикладі найпоширенішого зразка даного класу TEC1-12712 (рис. 1.11).



Рис. 1.11 Зовнішній вигляд TEC1-12712

До основних параметрів елементів Пельтьє належать:

- Q_{max} (Вт) – потужність охолодження, при максимально-допустимому струмі і різниці температур між гарячою і холодною сторонами рівною 0. Вважається, що вся теплова енергія надходить на холодну поверхню, миттєво, без втрат енергії передається на гарячу;
- ΔT_{max} (°C) – максимальна різниця температур між поверхнями модуля при ідеальних умовах;
- I_{max} (А) – струм, що забезпечує різницю температур ΔT_{max} ;
- U_{max} (В) – напруга, при струмі I_{max} і різниці температур ΔT_{max} ;
- R (Ом) – опір, що чинить елемент Пельтьє при протіканні через нього постійного струму.

Технічні параметри термоелектричного елемента TEC1-12712 вказані в наступній таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Позначення	Параметр	Значення, при температурі гарячої сторони елемента	
		25°C	50°C
Q_{max}	Потужність	50 Вт	57 Вт
ΔT_{max}	Різниця температур	66°C	75°C
I_{max}	Максимальний струм	6.4 А	6.4 А
U_{max}	Максимальна напруга	14.4 В	16.4 В
R	Опір	1.98 Ом	2.3 Ом

На (рис. 1.12-15) наведені графічні характеристики модуля TEC1-12712.

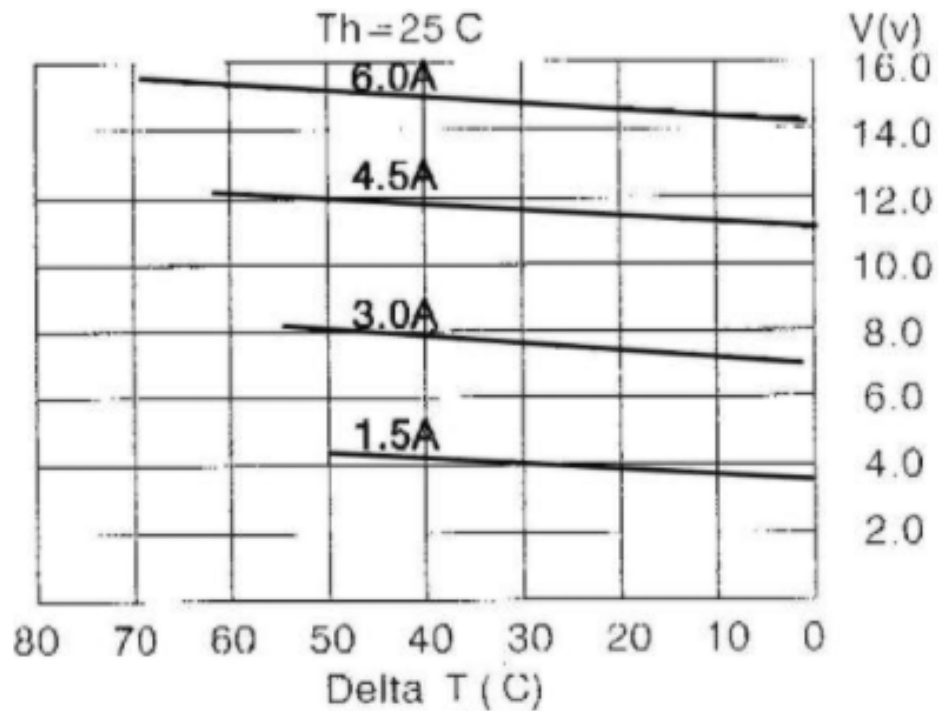


Рис. 1.12. Графік залежності напруги елемента Пельтьє від різниці температур його сторін і струму в ланцюзі при температурі гарячої сторони 25°C

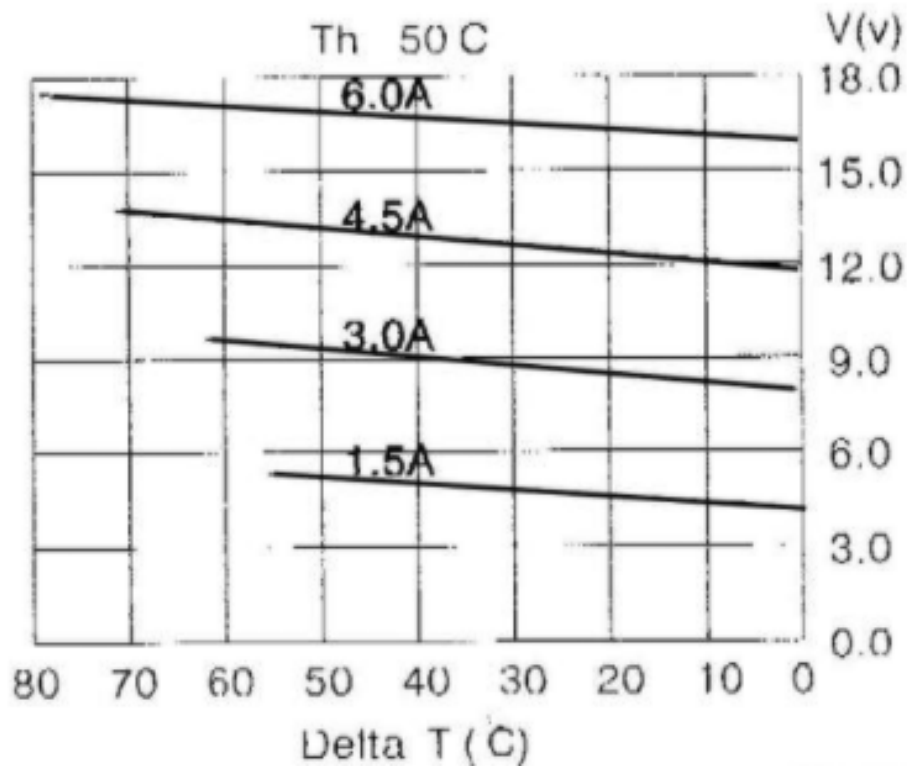


Рис. 1.13. Графік залежності напруги елемента Пельтьє від різниці температур його сторін і струму в ланцюзі при температурі гарячої сторони 50°C

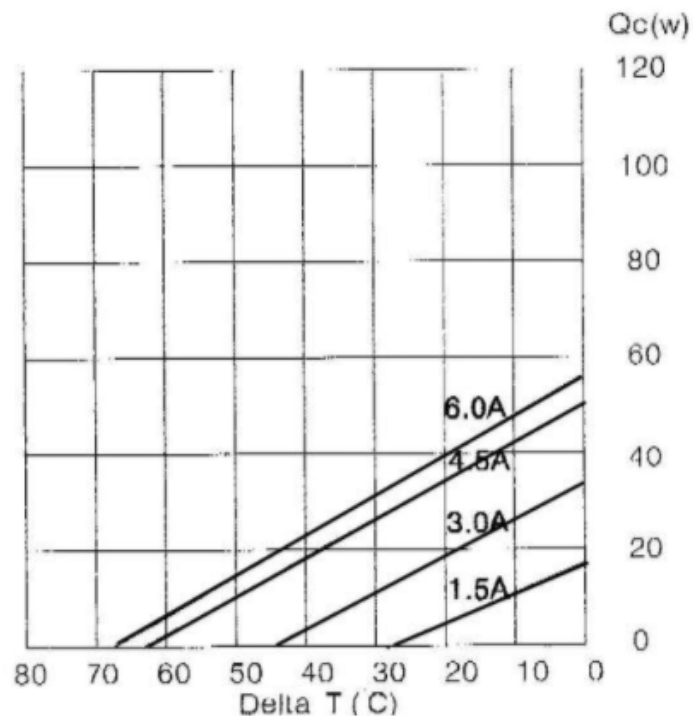


Рис. 1.14. Графік залежності потужності елемента Пельтьє від різниці температур його сторін і струму в ланцюзі при температурі гарячої сторони 25°C

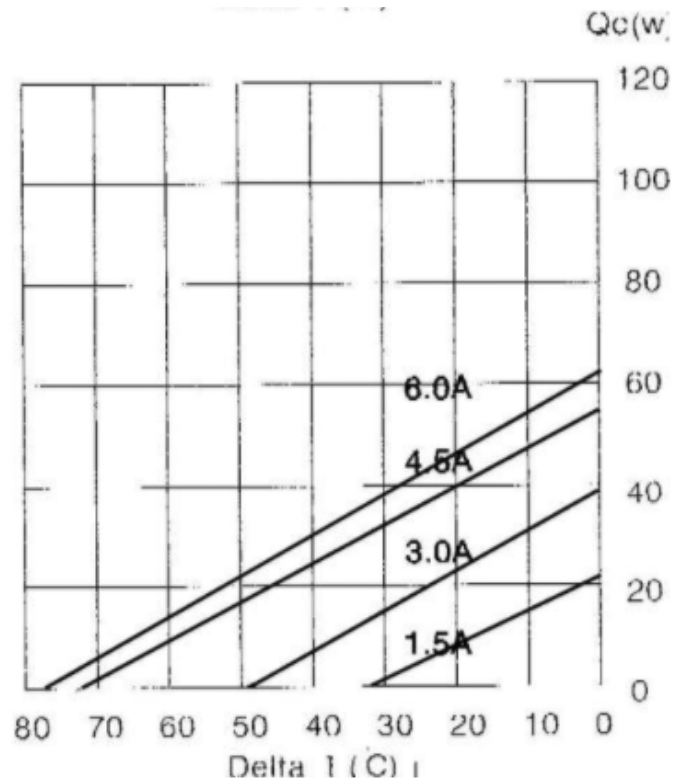


Рис. 1.15. Графік залежності потужності елемента Пельтьє від різниці температур його сторін і струму в ланцюзі при температурі гарячої сторони 50°C

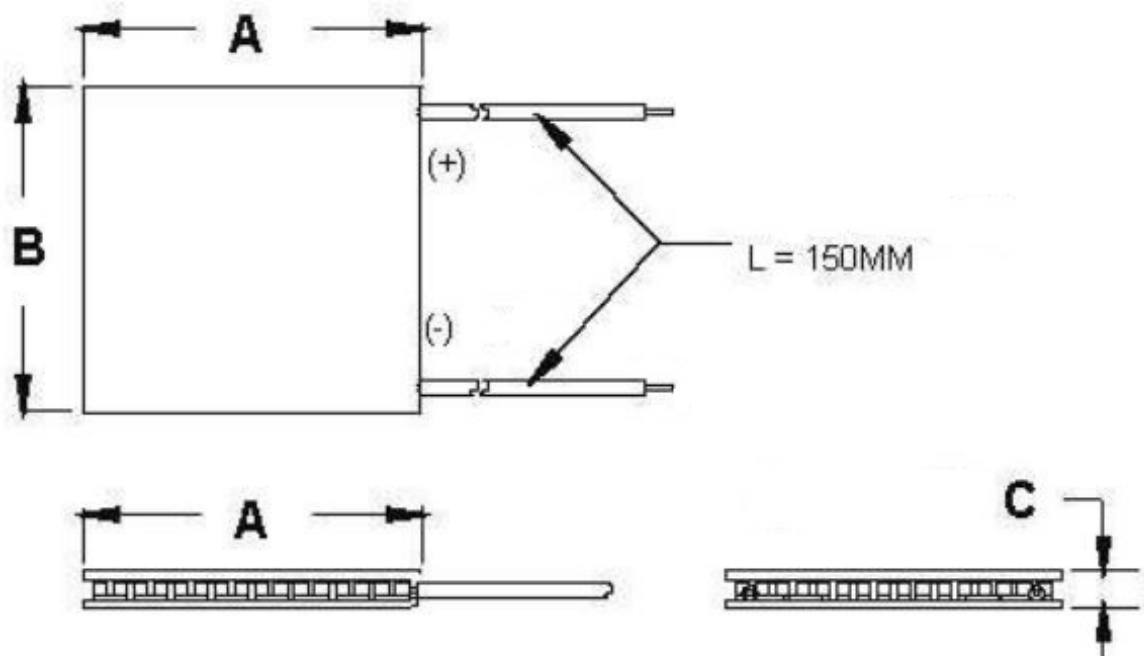


Рис. 1.16. Габаритне креслення модуля TEC1-12712.

Таблиця 1.2

Позначення	Розміри
A	40 мм
B	40 мм
C	3.8 мм

1.2 Переваги та недоліки елементів Пельтьє

Елементи Пельтьє, застосовуються в складі засобів охолодження електронних елементів відрізняються порівняно високою надійністю, і на відміну від холодильників, створених за традиційною технологією, не мають рухомих частин. І, як це зазначалося в попередньому підрозділі, для збільшення ефективності своєї роботи вони допускають каскадне використання, що дозволяє довести температуру корпусів електронних елементів навіть до негативних значень при їх значному розсіюванні.

Однак крім очевидних переваг, елементи Пельтьє володіють і рядом специфічних властивостей і характеристик, які необхідно враховувати при їх використанні в складі охолоджуючих засобів. І для більш коректного застосування елементів Пельтьє ці характеристики вимагають більш детального розгляду.

Елементи Пельтьє, виділяють в процесі своєї роботи велику кількість тепла, що вимагає наявності в складі відповідних радіаторів і вентиляторів, здатних ефективно відводити надмірне тепло від охолоджуючих модулів. Слід зазначити, що термоелектричні модулі відрізняються відносно низьким коефіцієнтом корисної дії (ККД) і, виконуючи функції теплового насоса, вони самостійно перетворюються в потужні джерела тепла. Використання даних модулів у складі засобів охолодження електронних комплектуючих різних систем викликає значне зростання температури усередині системного блоку, що нерідко вимагає додаткових заходів і засобів для зниження температури усередині корпусу систем. В іншому випадку підвищена температура всередині корпусу створює труднощі для роботи не тільки елементів, що захищаються, а й для їх систем охолодження і інших компонентів систем.

Необхідно також підкреслити, що модулі Пельтьє є порівняно потужним додатковим навантаженням для блоку живлення. З урахуванням значення струму споживання модулів Пельтьє величина потужності блоку живлення систем повинна бути досить великою. Слід зазначити, що існують холодильники Пельтьє з власним блоком живлення.

В разі виходу елемента Пельтьє з ладу, він ізолює охолоджуваний елемент від радіатора або вентилятора. Це призводить до дуже швидкого порушення теплового режиму елемента, що захищається і швидкого виходу його з ладу від подальшого перегріву.

Низькі температури, що виникають в процесі роботи елементів Пельтьє надлишкової потужності, сприяють конденсації вологи з повітря. Це становить небезпеку для електронних компонентів, так як конденсат може викликати

короткі замикання між елементами. Для запобігання даній небезпеці доцільно використовувати елементи Пельтьє оптимальної потужності.

Виникнення конденсату залежить від декількох параметрів. Найважливішими є:

- температура навколишнього середовища (в даному випадку температура повітря усередині корпусу системи);
- температура охолоджуваного об'єкту;
- вологість повітря.

Чим тепліше повітря всередині корпусу і чим більше вологість, тим вірогідніше відбудеться конденсація вологи і подальший вихід з ладу електронних елементів системи. Нижче представлена таблиця 1.1, яка демонструє залежність температури конденсації вологи на охолоджуваному об'єкті залежно від вологості і температури навколишнього повітря. Використовуючи цю таблицю, можна легко встановити, чи існує небезпека конденсації вологи чи ні. Наприклад, якщо зовнішня температура 20°C , а вологість 65%, то конденсація вологи на охолоджуваному об'єкті відбувається при температурі його поверхні нижче 13°C .

Таблиця 1.3

Вологість, %									
Температура навколишнього середовища, $^{\circ}\text{C}$	30	35	40	45	50	55	60	65	70
30	11	13	15	17	18	20	21	23	24
29	10	12	14	16	18	19	20	22	23
28	9	11	13	15	17	18	20	21	22
27	8	10	12	14	16	17	19	20	21
26	7	9	11	13	15	16	18	19	20

Вологість, %									
Температура навколишнього середовища, °C	30	35	40	45	50	55	60	65	70
25	6	9	11	12	14	15	17	18	19
24	5	8	10	11	13	14	16	17	18
23	5	7	9	10	12	14	15	16	17
22	4	6	8	10	11	13	14	15	16
21	3	5	7	9	10	12	13	14	15
20	2	4	6	8	9	11	12	13	14

Крім зазначених особливостей, необхідно враховувати і ряд специфічних обставин, пов'язаних з використанням термоелектричних елементів Пельтьє для охолодження центральних процесорів потужних комп'ютерів, систем, обчислювальних машин і т.д.

Архітектура сучасних систем та деякі системні програми передбачають зміну енергоспоживання залежно від завантаження процесорів, блоків обчислення або інших систем, що піддаються охолодженню. Це дозволяє оптимізувати їх енергоспоживання. До речі, це передбачено і стандартами енергозбереження, підтримуваними деякими функціями, вбудованими в апаратно-програмне забезпечення сучасних систем.

У звичайних умовах оптимізація роботи систем і його енергоспоживання позитивно відображається як на тепловому режимі самих об'єктів, що охолоджуються, так і загальному тепловому балансі систем. Однак слід зазначити, що режими з періодичною зміною енергоспоживання можуть погано поєднуватися із засобами охолодження систем, що використовують елементи Пельтьє. Це пов'язано з тим, що існуючі модулі Пельтьє, як правило, розраховані

на безперервну роботу. У зв'язку з цим, найпростіші елементи Пельтьє, що не містять засоби контролю, не рекомендується використовувати разом з охолоджуючими програмами, оскільки це може призвести до негативних наслідків.

У разі переходу системи в режим зменшеного енергоспоживання і відповідно тепловиділення можливе значне зниження температури корпусу і об'єктів, що охолоджуються. Їх переохолодження може викликати в деяких випадках тимчасове припинення працездатності системи або її вихід із ладу.

Для того щоб виключити проблеми з режимами змінного енергоспоживання, що викликають конденсацію вологи з повітря і можливе переохолодження, а в деяких випадках навіть перегрів елементів, що захищаються, слід відмовитися від використання подібних режимів і ряду вбудованих функцій. Однак як альтернативу можна використовувати системи охолодження, що передбачають інтелектуальні засоби управління елементами Пельтьє. Такі засоби можуть контролювати не тільки роботу систем в цілому, але й змінювати режими роботи самих термоелектричних елементів, які використовуваних у складі системи.

Також для управління елементом Пельтьє не рекомендується використовувати релейні регулятори. Це призведе до швидкої деградації модуля. Кожне включення-вимикання викликає деградацію напівпровідникових термопар. Через різких змін температури між пластинами модуля виникають механічні напруги в місцях спайки з напівпровідниками. Тому виробники елементів Пельтьє нормують кількість циклів старт-стопів модуля. [11]

До того ж елемент Пельтьє має високу теплопровідність між поверхнями. При виключенні, тепло радіатора гарячої сторони, через модуль буде передаватися на холодну сторону.

Більшість термоелектричних елементів мають герметичне виконання, їх можна використовувати навіть у воді.

Підсумуючи можна виділити основні переваги та недоліки даних термоелектричних елементів.

До переваг можна віднести наступне:

- Мініатюрність, досить малі розміри в порівнянні з іншими представниками охолоджувальних пристроїв, що дозволяє з легкістю охолоджувати електронні датчики;
- Відсутність рухомих частин, що робить термоелектричні елементи високонадійними пристроями;
- Відсутність чутливості до вібрацій, що досить важливо під час їх використання в авіаційних системах;
- Можливість точного і плавного регулювання температурного режиму;
- Безшумність;
- Легкість переходу від режиму нагрівання до режиму охолодження;
- Простота в експлуатації і ремонті;
- Екологічність. Елементи Пельтьє не містять отруйних холодоагентів, які використовуються в класичних системах охолодження.

Недоліки:

- Досить низький коефіцієнт корисної дії;
- Необхідність в джерелі живлення;
- Обмежена кількість числа старт-стопів;
- Висока вартість потужних модулів;
- Необхідність в охолодженні гарячої сторони елемента для підтримки великої різниці температур між сторонами термоелемента та запобіганню його швидкій деградації внаслідок дій високих температур;

1.3 Застосування елементів Пельтьє

Основним напрямком практичного використання ефекту Пельтьє в напівпровідниках є отримання холоду для створення термоелектричних охолоджуючих пристроїв або навпаки підігрів об'єктів при низьких та від'ємних температурах, тобто термостатування. Також перспективним є процес управління кристалізацією в умовах постійної температури.

Термоелектричний метод охолодження має ряд переваг в порівнянні з іншими методами охолодження. Термоелектричні пристрої відрізняються простотою управління, можливістю тонкого регулювання температури, безшумністю, високою надійністю роботи. Основним недоліком термоелектричних пристроїв є мала величина ефективності, що не дозволяє їх використовувати для промислового отримання «холоду».

Тому термоелектричні термостатуючі пристрої знайшли широкого застосування в побутових і транспортних холодильниках, термостатах, для охолодження і термостатування термочутливих елементів радіоелектронної та оптичної апаратури, для управління процесом кристалізації, в медико-біологічних приладах і т.д.

Елементи Пельтьє застосовуються в ситуаціях, коли необхідно охолодження з невеликою різницею температур, або енергетична ефективність охолоджувача не важлива. Елементи Пельтьє застосовуються в маленьких холодильниках або кондиціонерах, так як застосування компресора в цьому випадку неможливо через обмеження розмірів і, крім того, необхідна потужність охолодження невелика.

Крім того елементи Пельтьє застосовуються для охолодження пристроїв із зарядним зв'язком в цифрових фотокамерах. За рахунок цього досягається помітне зменшення теплового шуму при тривалих експозиціях. Даний ефект успішно використовується в потужних цифрових телескопах та астрофотографії в цілому. Багатокаскадні елементи Пельтьє застосовуються для охолодження приймачів випромінювання в інфрачервоних сенсорах та для охолодження і термостатування твердотільних лазерів з діодним накачуванням, щоб стабілізувати довжину хвилі випромінювання.

Технічна реалізація ефекту Пельтьє досягається за допомогою так званої термоелектричної батареї, що є основним технологічним вузлом усіх термоелектричних охолоджуючих пристроїв. Вона складається, як правило, з послідовно з'єднаних термоелементів. [12]

Так як металеві провідники мають слабкі термоелектричні властивості, термоелементи робляться з напівпровідників, причому один із ланцюгів

термоелемента повинен складатися з чисто діркового (p -тип), а інший з чисто електронного (n -тип) напівпровідника. Якщо вибрати такий напрямок струму (рис. 1.17), при якому на контактах, розташованих усередині холодильника тепло Пельтьє буде поглинатися, а на зовнішніх контактах виділятися в навколишній простір, то температура всередині холодильника буде знижуватися, а простір поза холодильником нагріватися. Цей процес буде відбуватися при будь-якій конструкції холодильника.

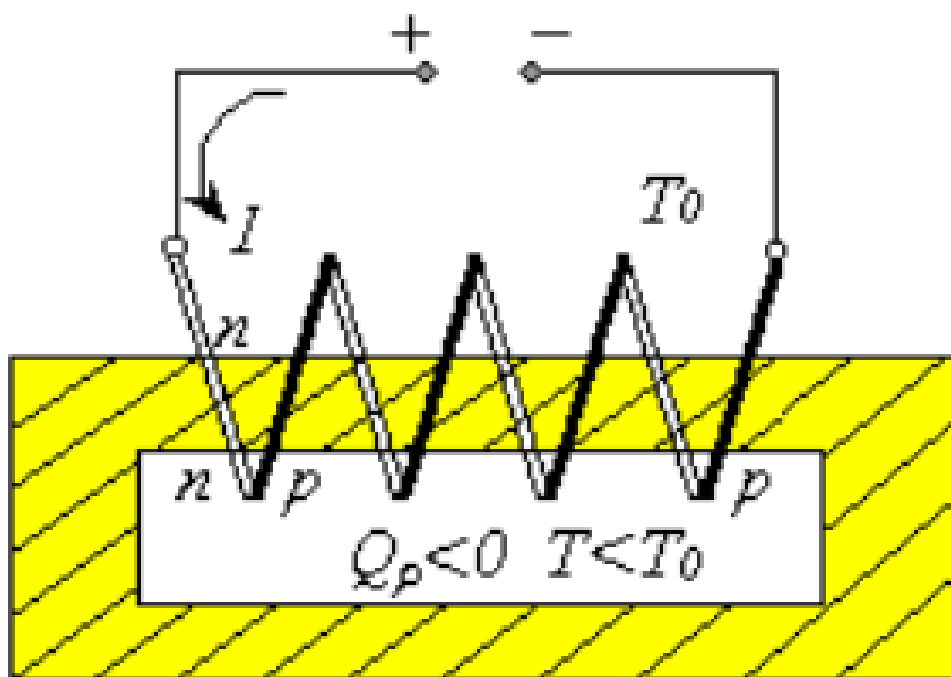


Рис. 1.17. Принципова схема термоелектричного холодильника

Головна характеристика термоелектричного охолоджувального пристрою – це ефективність охолодження

$$Z = \alpha^2 / (\rho \lambda) \quad (1.21)$$

де α – коефіцієнт термоелектрорушійної сили; ρ – питомий опір; λ – питома теплопровідність напівпровідника.

Параметр Z – функція температури і концентрації носіїв заряду, причому для кожної заданої температури існує оптимальне значення концентрації, при якій величина Z максимальна.

Максимальне зниження температури пов'язано з величиною ефективності охолодження виразом

$$\Delta T_{max} = \frac{1}{2} Z T^2, \quad (1.22)$$

де T – температура холодного спаю термоелемента.

Чим більше значення Z для окремих гілок, тим більше і те значення

$$Z = (\alpha_1 + \alpha_2)^2 / (\sqrt{\rho_1 \alpha_1} + \sqrt{\rho_2 \alpha_2})^2 \quad (1.23)$$

яке визначає коефіцієнт корисної дії всього термоелемента. Доцільно вибрати напівпровідники з найбільшими значеннями рухливості і з мінімальною теплопровідністю. Введення в напівпровідник тих чи інших домішок - основний доступний засіб змінювання його показників (α, ρ, λ) в бажану сторону.

Технологічно стрижні з напівпровідникових матеріалів з p - і n -провідністю (1) монтуються на теплопровідні плати з ізоляційного матеріалу (2) за допомогою металевих з'єднувачів (3) як показано на рис. 1.18.

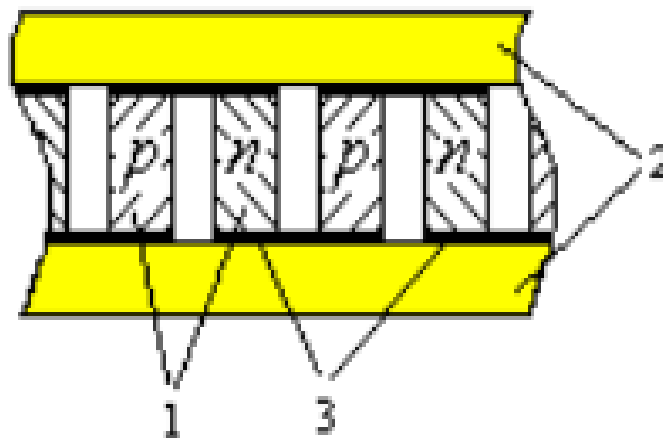


Рис. 1.18. Схема найпростішого термоелектричного модуля (1 – напівпровідникових матеріалів з p - і n -провідністю; 2 – теплопровідні плати; 3 – металеві з'єднувачі)

В роботі Коржуев М.А., Иванова Л.Д., Свечникова Т.Е., Петрова Л.И., Гранаткина Ю.В., Земсков В.С. [11] досліджується теорія розподіленого ефекту Пельтьє. Вона показує, що термоелементи з неоднорідними ланцюгами мають

підвищену термоелектричну добротність Z і можуть забезпечувати при охолодженні від кімнатної температури ($T_0 = 300\text{ K}$) перепади ΔT на $\sim 10 - 20\text{ K}$ більші, ніж модулі з однорідними ланцюгами [12].

В якості неоднорідних ланцюгів, раніше, при експериментах використовували паяні складені ланцюги, вирізані з монокристалів різного складу паралельно до площин спаїв (рис. 1.19) [13].

У [14] був описаний спосіб отримання неоднорідних монолітних ланцюгів з так званих градієнтних монокристалів на основі теллуридів Bi і Sb із ступінчастим розподілом концентрації носіїв струму по довжині. Метою цієї роботи було порівняльне дослідження в інтервалі температур $100 - 300\text{ K}$ модулів з однорідними, паяними складовими і, отриманими в ИМЕТ за методикою [14], градієнтними ланцюгами.

Було показано, що використання градієнтних ланцюгів дозволяє додатково збільшити ефективність роботи модулів за рахунок зменшення внеску перехідних опорів при комутації.

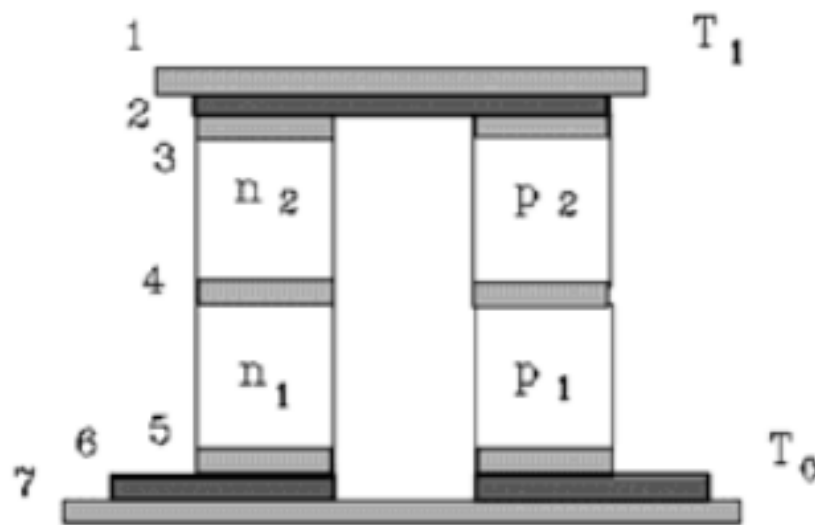


Рис. 1.19 Схема термоелемента з спаяними складеними ланцюгами. n_1 і n_2 , p_1 і p_2 – сегменти n -типу ($Bi_2Te_3 - Bi_2Se_3$) і p -типу провідності ($Bi_2Te_3 - Sb_2Te_3$) з різною концентрацією носіїв струму ($n_1 < n_2$; $p_1 < p_2$); 1,7 – ізолюючі теплопереходи (BeO); 2,6 – комутуючі пластини (Cu); 3, 4, 5 – припій ($T_0 > T_1$)

У таблиці 1.4 наведені вирази для основних параметрів різних термоелементів, отриманих з урахуванням вкладу перехідних опорів r_i (i -номер області на рис.1.19) і температурних залежностей властивостей. Де $T_0, T_1, T^*, T^{**}, T^{***}$ – температура на гарячому і холодному спаях, середня температура ланцюгів і сегментів (1 і 2), а

$$\alpha = \alpha_p - \alpha_n, \quad (1.24)$$

$$\Delta\alpha = \alpha_1 - \alpha_2, \quad (1.25)$$

$\Delta\alpha_T, \Delta\alpha_{T_1}$ і $\Delta\alpha_{T_2}$ – перепади термоелектрорушійної сили на холодному спаї, на неоднорідному ланцюзі, а також на однорідному ланцюзі і сегментах (1 і 2), пов'язані з температурними залежностями α .

$$r = L \left(\frac{\rho_1}{s_1} + \frac{\rho_2}{s_2} \right), \quad (1.26)$$

$$k_0 = (k_1 s_1 + k_2 s_2) / L, \quad (1.27)$$

де r – ефективний електроопір і k_0 – теплопровідність, усереднені по довжині гілок L . $\rho_{1,2}, k_{1,2}, s_{1,2}$ – питомі електропровідності, теплопровідності і поперечний переріз гілок ($r_4 = 0$ – для градієнтних, $r_4 \neq 0$ – для складених ланцюгів). З таблиці 1.4 видно, що при $\Delta\alpha > 0$ і $\Delta\alpha_T > 0$ величини I_0, Q_{max} і ΔT_{max} термопар зростають за рахунок розподіленого ефекту Пельтьє [11-15].

Для експериментів використовували однокаскадні модулі, що склалися з двох термопар з градієнтними, складеними і однорідними ланцюгами $1,2 \times 1,2 \times 2,5$ мм³.

Характеристики матеріалів досліджених модулів наведені в таблиці 1.5. В градієнтних ланцюгах властивості змінювалися безперервно від n_1 до n_2 і від p_1 до p_2 . Результати порівняльних випробувань модулів в інтервалі температур 100 – 300 К представлені на рис. 1.20.

Таблиця 1.3

Основні параметри термоелектричних пар з однорідними і неоднорідними гілками

Термопара	Оптимальний струм, I_0, A	Максимальна потужність, $Q_{max}, Вт$	Максимальний перепад температури, $\Delta T_{max}, K$
Однорідні ланцюги	$\sim(\alpha T_1 + 0.5\Delta\alpha_T T^*) / (r + 2r_2 + 2r_3)$	$\sim(\alpha T_1 + 0.5\Delta\alpha_T T^*)^2 / 2(r + 2r_2 + 2r_3)$	$\sim(\alpha T_1 + 0.5\Delta\alpha_T T^*)^2 / 2k_0(r + 2r_2 + 2r_3)$
Неоднорідні ланцюги	$\sim(\alpha T_1 + 0.5\Delta\alpha_T T^* + 0.5\Delta\alpha_{T_1} T^{**} + \Delta\alpha_{T_1} T^{***}) / (r + 2r_2 + 2r_3 + r_4)$	$\sim(\alpha T_1 + 0.5\Delta\alpha_T T^* + 0.5\Delta\alpha_{T_1} T^{**} + \Delta\alpha_{T_1} T^{***})^2 / 2(r + 2r_2 + 2r_3 + r_4)$	$\sim(\alpha T_1 + 0.5\Delta\alpha_T T^* + 0.5\Delta\alpha_{T_1} T^{**} + \Delta\alpha_{T_1} T^{***})^2 / 2k_0(r + 2r_2 + 2r_3 + r_4)$

Таблиця 1.4

Сегменти (ланцюги)	$\alpha,$ $\mu V/K$	$\sigma,$ Sm/cm	$\kappa 10^3,$ $W/(cm.K)$	$Z 10^3,$ $1/(K)$
n_2	-186	1504	17.5	2.97
n_1	-253	640	14.3	2.88
p_2	188	1261	17.2	2.59
p_1	235	629	11.8	2.95

Конфігурація модулів: складені і градієнтні ланцюги – $(n_1/n_2/p_2/n_1)$; однорідні низькоомні ланцюги – (n_2/p_2) , однорідні високоомні ланцюги – (n_1/p_1) .

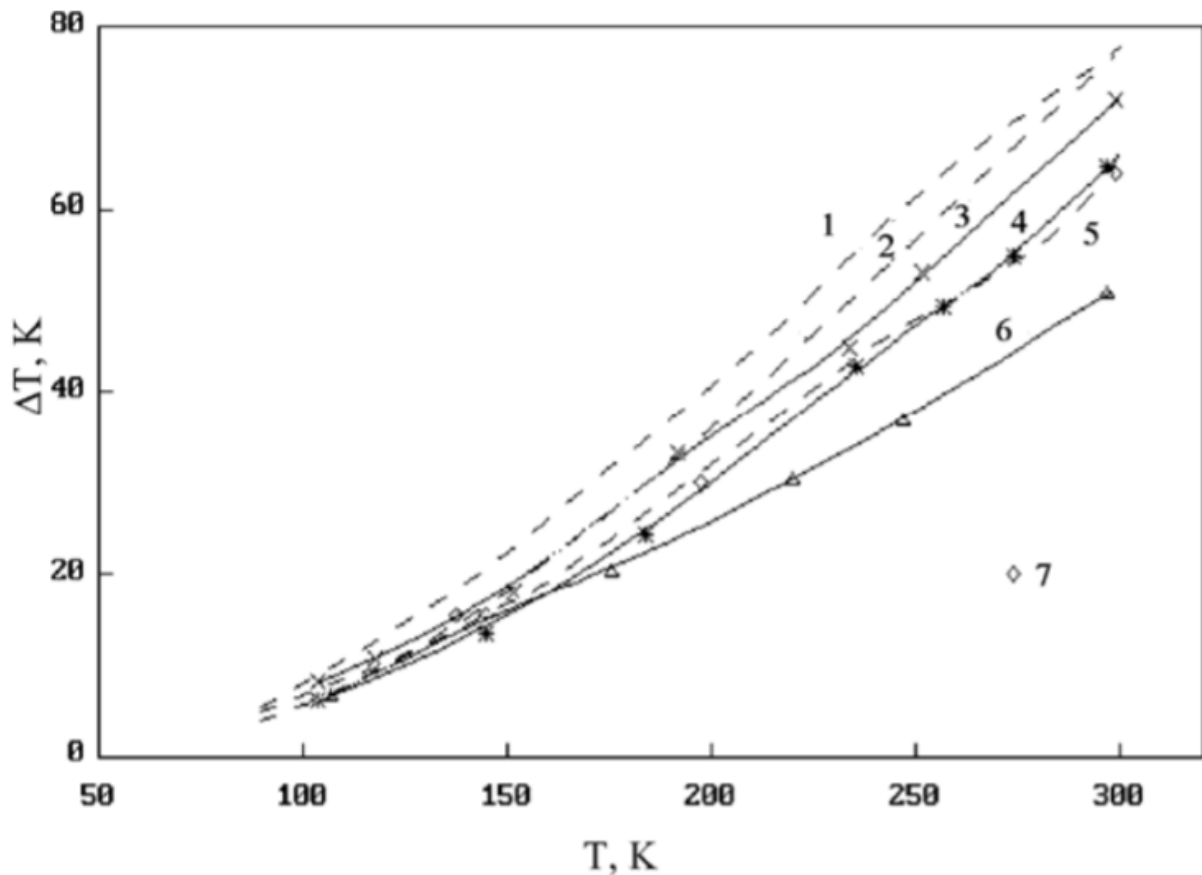


Рис. 1.20. Розраховані ($r_i = 0$) (1,2,5) і експериментальні (3,4,6,7) залежності $\Delta T_{max} = f(T_0)$ для модулів з градієнтними (1,3) складеними (1,7), однорідними низькоомними (2,4) і однорідними високоомними ланцюгами (5,6)

З рис. 1.20 видно що найкращими характеристиками володіє модуль з градієнтними ланцюгами (крива 3). При переході до складених (точки 7), а також до однорідних низькоомних (крива 4) і однорідних високоомним ланцюгам (крива 6), величина ΔT послідовно спадає.

У модулі з градієнтними гілками (крива 3) приріст ΔT при температурі $T_0 = 300K$ досягало $\sim 8 K$ ($\sim 13\%$), а при температурі $T_0 = 140K - 4 K$ ($\sim 40\%$), у порівнянні з однорідними низькоомними (крива 4) і високоомними ланцюгами відповідно (крива 6), оптимальними при зазначених температурах.

Збільшення ΔT в модулі з градієнтними ланцюгами (крива 3) порівняно з модулем зі складеними ланцюгами (точки 7) становило $\sim 7 K$ при температурі $T_0 = 300K$ і $\sim 3 K$ при температурі $T_0 = 140K$.

Порівняння експериментальних залежностей з розрахунковими (рис. 1.20) показало, що втрати ΔT через перехідні опори в модулях становили $\sim 6 - 12 K$ при $T_0 = 300K$, $\sim 2 - 4K$ при температурі $T_0 = 140K$. Перехідні опори визначалися шляхом порівняння експериментальних і розрахункових значень $\Delta T, I_0$ і прямого вимірювання опорів модулів при змінному струмі (табл. 1.5).

Таблиця 1.5

Перехідні опори $R_{\text{пер}}$ на границях матеріалів n- і p-типу/спаю

Границя	$n_1, p_1/$ спай	$n_2, p_2/$ спай	$n_1, p_1, n_2, p_2/Ni/$ спай
$R_{\text{пер}}, \text{Ом} \cdot \text{см}^2$	$\sim 2,2 \cdot 10^{-4}$	$\sim 5,2 \cdot 10^{-5}$	$\sim 7 \cdot 10^{-5}$

Тобто основна частина втрат ΔT в модулях пов'язана з перехідними опорами $R_{\text{пер}}$ на фазових межах матеріал/спай; величини $R_{\text{пер}}$ при спаї низькоомних сегментів неоднорідних модулів ($n_1, p_1/$ спай) виявлялися істотно меншими, ніж для високоомних сегментів ($n_2, p_2/$ спай), що пов'язано з різним становищем рівня Фермі в матеріалах.

Напилення плівок Ni ($\sim 2-3 \mu$) на кінцях ланцюгів знижувало $R_{\text{пер}}$ (табл. 1.5). Перевага градієнтних ланцюгів в порівнянні зі складеними (криві 3 і 8) визначилася відсутністю перехідного опору $r_4 = 0$.

В цілому було підтверджено, що ефективність роботи однокаскадних термоелектричних модулів з неоднорідними ланцюгами вище, ніж при використанні однорідних гілок [17]. Ефект проявляється найкраще в градієнтних ланцюгах, де перехідний опір між сегментами відсутня ($r_4 = 0$). Механізм зростання ΔT при використанні неоднорідних ланцюгів пов'язаний з компенсацією тепла Джоуля $Q_{\text{дж}}$ розподіленого ефекту Пельтьє, що збільшує величину оптимального робочого струму I_0 і відповідно знижує температуру холодного спаю T_1 [14]. До зростання ΔT за рахунок розподіленого ефекту Пельтьє веде також температурна залежність α (табл. 1.3) [14]. У всіх випадках розподілений ефект Пельтьє компенсує частину $Q_{\text{дж}}$ безпосередньо в ланцюгах модулів, тобто при більш високій температурі, ніж на холодному спаї (T_1), що

сприятливо по термодинамічних міркуваннях (оскільки $\alpha \rightarrow 0$, а $\rho \neq 0$ при $T \rightarrow 0$).

Відповідно відносна ефективність неоднорідних ланцюгів збільшується при зниженні температури. Крім того, присутність в холодній частині неоднорідних ланцюгів низькоомних сегментів забезпечує більш низькі перехідні опори при комутації ($r_3 < r_5$) і відповідно менше тепловиділення в районі холодного спаю в порівнянні з однорідними гілками, де $r_3 < r_5$. Виявлене співвідношення між перехідними опорами $r_3 < r_5$ необхідно враховувати при розрахунках багато каскадних модулів з неоднорідними ланцюгами.

Підсумуючи вище викладене в даному розділі можна сказати, що елементи Пельтьє мають великі перспективи для їх застосування в найрізноманітніших сферах таких як машинобудування, авіаційна і аерокосмічні галузі. Основними особливостям цих термоелектричних елементів є їх висока надійність, дешевизна, простота використання, відсутність рухомих частин, вібростійкість та чудові експлуатаційні характеристики, що дозволяють їх застосовувати для проектування систем термостатування бортового обладнання.

РОЗДІЛ 2. ЕЛЕКТРИЧНИЙ НАГРІВАЛЬНИЙ ЕЛЕМЕНТ

2.1 Принцип дії

Електричний нагрівальний елемент – це пристрій, в якому енергія електричного струму перетворюється в теплову енергію.

Електричний нагрів в порівнянні з іншими класичними видами нагріву, які вимагають спалювання палива має ряд істотних переваг. Він значно екологічніший, безпечніший, енергоефективніший, менш габаритніший та не вимагає складних операцій і конструкцій для передачі тепла в робочу зону.

Сучасний світ неможливо уявити без електричних нагрівальних приладів. Вони мають широке застосування в побуті, промисловості, машинобудуванні, електротехніці, авіаційній і аерокосмічній галузях. Головним компонентом цих приладів є електричний нагрівальний елемент.

В основі роботи даних елементів лежить закон Джоуля-Ленца. Коли провідник нерухомий, робота струму йде на збільшення внутрішньої енергії провідника, у результаті чого провідник нагрівається

$$A = Uq = IUt. \quad (2.1)$$

При цьому вся енергія струму йде на виділення тепла

$$Q = IUt. \quad (2.2)$$

Нагрівання відбувається через те, що вільні електрони, що переміщуються в провіднику під дією електричного поля, бомбардують атоми молекул матеріалу провідника, тим самим передаючи їм власну енергію, яка переходить в теплову.

Проводячи експеримент російський фізик Е.Х. Ленц і англійський фізик Д. Джоуль незалежно один від одного встановили, що кількість теплоти, що виділяється в провіднику при проходженні через нього електричного струму, прямо пропорційно опору провідника R , квадрату сили струму I і часу t . Цей закон і отримав закон Джоуля-Ленца, який можна описати наступною формулою [8]:

Кафедра АКСУ			НАУ 20 15 77 000 ПЗ			
Виконав	Чернецький Я.В.		ЕЛЕКТРИЧНИЙ НАГРІВАЛЬНИЙ ЕЛЕМЕНТ	Літера	Аркуш	Аркушів
Керівник	Безкорвайний Ю.М.				43	100
Консульт.	Безкорвайний Ю.М.			151-201М		
Н-контроль	Дивнич М.П.					
Зав. Каф.	Тачиніна О.М.					

$$Q = I^2Rt, \quad (2.3)$$

де Q – кількість теплоти, що виділяється в провіднику при проходженні струму через нього, Дж; R – електричний опір провідника, Ом; I – струм, що проходить через провідник, А; t – час, с.

Даний експеримент полягав у тому, що через три однакових за своїми геометричними розмірами, але виконаних з різних матеріалів провідника включених послідовно пропускався електричний струм (рис 2.1).

$$A_1 = A_2 = A_3 = A_4$$

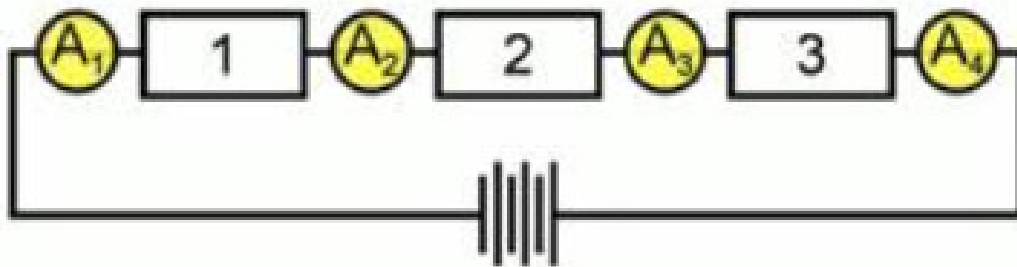


Рис. 2.1. Експеримент Джоуля

При послідовному з'єднанні провідників сила струму в усіх ділянках повинна бути однакою. Виходячи з цього кількість теплоти також мала б бути однакою, проте це не так (рис. 2.2).

$$Q_1 \neq Q_2 \neq Q_3$$

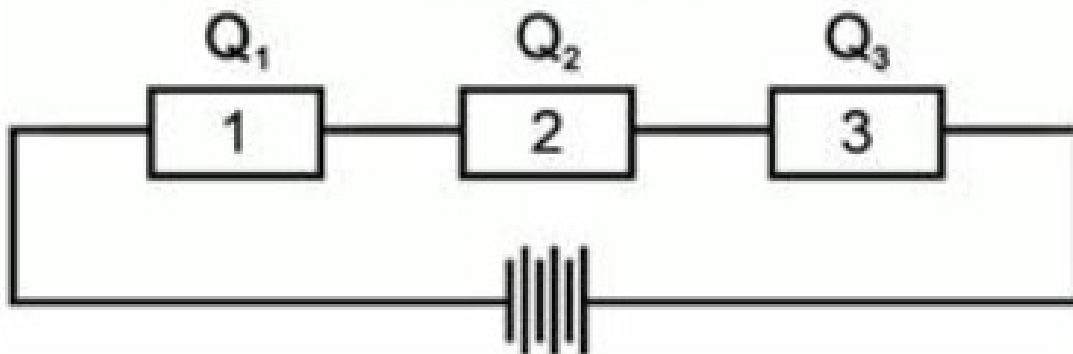


Рис. 2.2. Різна кількість теплоти на кожному з провідників

Так було експериментально підтверджено, що кількість теплоти залежить не тільки від сили струму, а й так само від ще однієї характеристики провідника – електричного опору.

При паралельному з'єднанні провідників зручніше користуватися іншим записом закону Джоуля-Ленца, а саме

$$Q = \frac{U^2}{R} t. \quad (2.4)$$

Якщо струм в провіднику змінюється в часі, то закон Джоуля-Ленца запишеться у вигляді інтегральної форми

$$Q = \int_0^t I^2 R dt. \quad (2.5)$$

Тобто в цьому випадку для пошуку кількості тепла залишається скористатися інтегруванням для знаходження площі під графіком залежності потужності від часу (рис 2.3).

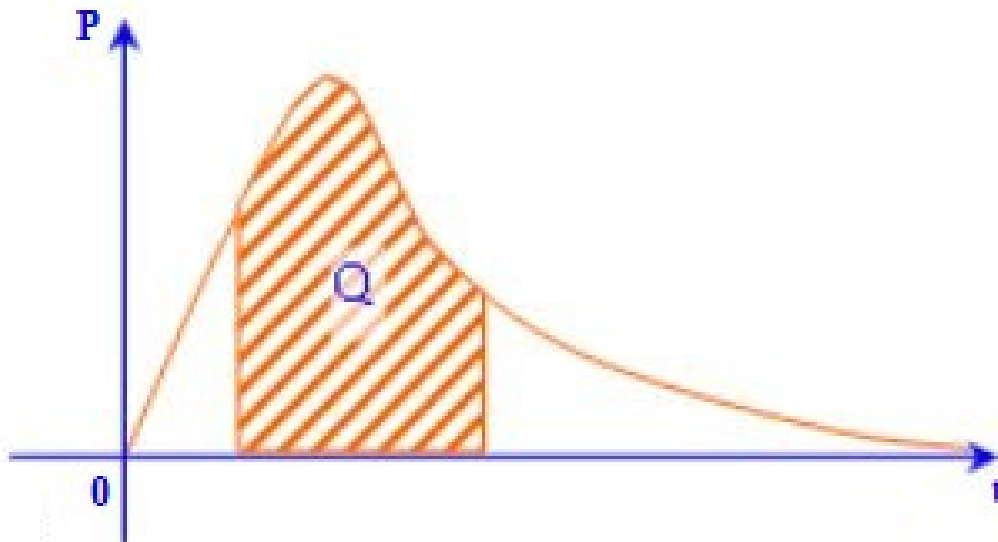


Рис. 2.3. Знаходження кількості теплоти при змінному струмі

Від інтегральної форми закону Джоуля-Ленца можна перейти до диференціальної форми. Для цього потрібно виділити в провіднику елементарний циліндричний об'єм dV довжиною dl і площею основи dS , вісь якого співпадає з вектором щільності струму \vec{j} , а основи перпендикулярні \vec{j} (рис. 2.4). Вектор

щільності струму паралельний вектору напруженості електричного поля в провіднику $\vec{j} \uparrow \uparrow \vec{E}$.

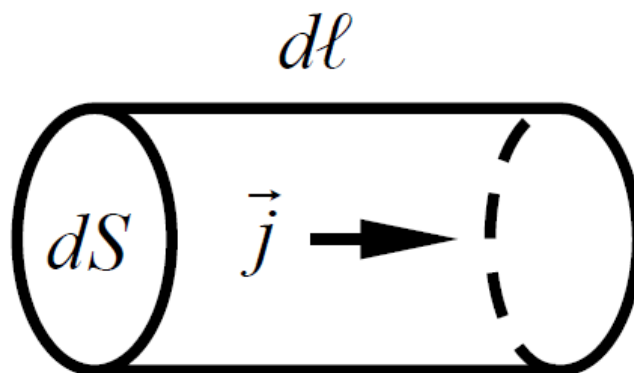


Рис. 2.4. Елементарний циліндричний об'єм

Сила струму dI в отриманому циліндрі записується у вигляді

$$dI = j dS. \quad (2.6)$$

Опір в елементарний циліндричний об'ємі

$$R = \rho \frac{dl}{dS}, \quad (2.7)$$

де ρ – питомий опір провідника, Ом·м.

За короткий час dt в об'ємі dV елемента провідника виділяється кількість теплоти

$$\delta Q = I^2 R dt. \quad (2.8)$$

Враховуючи (2.6) і (2.7) перепишемо (2.8) у вигляді

$$\delta Q = j^2 (dS)^2 \rho \frac{dl}{dS} dt = j^2 \rho dS dl dt, \quad (2.9)$$

де $dS \cdot dl = dV$ – об'єм елементарного циліндра.

Кількість теплоти, що виділяється за одиниць часу в одиниці об'єму, має назву питома теплова потужність струму. Вона рівна

$$w = \frac{\delta Q}{dV dt}. \quad (2.10)$$

Підставивши (2.9) і (2.10) отримаєм

$$w = \rho j^2. \quad (2.11)$$

Враховуючи закон Ома в диференціальній формі

$$\vec{j} = \gamma \vec{E}, \quad (2.12)$$

де \vec{j} – щільність струму, А/м²; $\gamma = \frac{1}{\rho}$ – питома провідність, См/м; \vec{E} – напруженість електричного поля в провіднику, В/м.

Перепишемо (2.11) у вигляді

$$w = \gamma E^2. \quad (2.13)$$

Таким чином запис закону Джоуля-Ленца в диференціальній формі має вигляд

$$w = \rho j^2 = \gamma E^2. \quad (2.14)$$

2.1 Види нагрівачів та особливості їх застосування

Виділяють всього два типи нагрівачів:

– Відкриті електричні нагрівальні елементи до яких відносяться спіралі. Спіральні нагрівальні елементи віддають тепло за рахунок конвекції і випромінювання;

– Закриті електричні нагрівальні елементи. Вони можуть бути герметичними або негерметичними. До герметичних відносяться трубчасті нагрівальні елементи, а до негерметичних спіралі і стрічки в захисній оболонці, виконаної з електроізоляційного матеріалу. В якості захисту може застосовуватися кераміка, що надягається просто на спіраль.

Для коректної і безпечної роботи нагрівачі повинні відповідати низці вимог. Нагрівачі повинні мати достатню жаростійкість і жароміцність. Жароміцність – здатність металів і сплавів витримувати механічні навантаження при високих температурах протягом визначеного часу. Жаростійкість – опір металів і сплавів газовій корозії при високих температурах. Під нею також розуміють напругу, що викликає задану деформацію, що не приводить до руйнування, яке здатний витримати металевий матеріал в конструкції при певній температурі за заданий відрізок часу.

Нагрівач повинен бути зроблений з матеріалу, що володіє високим питомим електричним опором. Говорячи простою мовою, чим вище електричний опір матеріалу, тим сильніше він нагрівається. Отже, якщо взяти матеріал з меншим опором, то буде потрібно використовувати нагрівач більшої довжини і з меншою площею поперечного перерізу. Що особливо важливо при вирішенні проблеми компактності. Також варто враховувати, що, чим більше діаметр дроту, з якого зроблений нагрівач, тим довше термін його служби. Прикладами матеріалів, що володіють високим електричним опором сплави з ніхрому та фехралі, вони відносяться до матеріалів з високим електричним опором.

Необхідно приділяти увагу фізичним властивості матеріалів нагрівачів – вони повинні бути постійними. Деякі матеріали, можуть змінювати свої фізичні властивості в процесі експлуатації, зокрема електричний опір, що ускладнює умови їх використання.

Найбільш придатними і використовуваними у виробництві нагрівачів є прецизійні сплави з високим електричним опором. До них відносяться сплави на основі хрому та нікелю (хромонікелеві), заліза, хрому і алюмінію (залізохромоалюмінієві). Марки і властивості даних сплавів розглянуті в ГОСТ 10994-74 «Сплавы прецизионные. Марки» [16]. Представниками хромонікелевих сплавів є ніхром марок Х20Н80, Х20Н80-Н, Х15Н60, Х15Н60-Н, залізохромоалюмінієвих – фехраль марок Х23Ю5Т, Х27Ю5Т, Х23Ю5, Х15Ю5.

Перераховані вище сплави мають гарні властивості жароміцності і жаростійкості, тому вони можуть працювати при високих температурах. Хорошу жаростійкість забезпечує захисна плівка з окису хрому, яка утворюється на поверхні матеріалу. Температура плавлення плівки вище температури плавлення самого сплаву, вона не розтріскується при нагріванні і охолодженні.

Наведемо характеристику ніхрому. До його переваг можна віднести:

- хороші механічні властивості як при низьких, так і при високих температурах;
- великий питомий опір;
- здатність не розжарюватися при нагріванні;

- здатність зберігати пластичність після охолодження;
- зберігання своїх властивостей при довгій експлуатації;
- довговічність;

До недоліків ніхрому можна віднести лише його високу вартість та більш низькі робочі температури, ніж у деяких інших сплавів з високим електричним опором.

Основні умови нагріву та охолодження електрообладнання розглянемо на прикладі однорідного провідника, що охолоджується рівномірно з усіх боків.

Якщо через провідник, що має температуру навколишнього середовища, проходить струм, то температура провідника поступово підвищується, так як вся енергія втрат при проходженні струму через провідник переходить в тепло.

Швидкість наростання температури провідника при нагріванні струмом залежить від співвідношення між кількістю тепла, що виділяється і інтенсивністю його відводу, а також теплопоглинальною здатністю провідника.

Кількість тепла, виділеного в провіднику протягом часу dt , буде складати:

$$dQ = P \cdot dt = I^2 \cdot R_a \cdot dt, \quad (2.15)$$

де I – діюче значення струму, що проходить по провіднику; R_a – активний опір провідника при змінному струмі; P – потужність втрат, які переходять в тепло. Частина цього тепла йде на нагрів провідника і підвищення його температури, а решта тепла відводиться з поверхні провідника за рахунок тепловіддачі.

Енергія, що йде на нагрів провідника, дорівнює

$$dQ_1 = G \cdot c \cdot d\theta, \quad (2.16)$$

де G – вага провідника; c – питома теплоємність матеріалу провідника; θ – перегрів або перевищення температури провідника по відношенню до навколишнього середовища

$$\theta = v - v_0, \quad (2.17)$$

де v і v_0 – температура провідника і навколишнього середовища.

Енергія, що відводиться з поверхні провідника протягом часу dt за рахунок тепловіддачі, пропорційна перевищенню температури провідника над температурою навколишнього середовища

$$dQ_2 = K \cdot F \cdot (v - v_0) \cdot dt = K \cdot F \cdot \theta \cdot dt \quad (2.18)$$

де K – загальний коефіцієнт тепловіддачі, що враховує всі види тепловіддачі, Вт/см² · °С; F – поверхня охолодження провідника, см².

Рівняння теплового балансу за час не усталеного теплового процесу можна записати в наступному вигляді

$$dQ = dQ_1 + dQ_2 \quad (2.19)$$

або

$$I^2 \cdot R_a \cdot dt = G \cdot c \cdot d\theta + K \cdot F \cdot \theta \cdot dt \quad (2.20)$$

або

$$\frac{I^2 \cdot R_a}{G \cdot c} = \frac{d\theta}{dt} + \frac{K \cdot F}{G \cdot c} \cdot \theta. \quad (2.21)$$

Для умов нормального режиму, коли температура провідника змінюється в невеликих межах, можна прийняти, що R, c, K є постійні величини. Крім того, слід врахувати, що до включення струму провідник має температуру навколишнього середовища, тобто початкове перевищення температури провідника над температурою навколишнього середовища дорівнює нулю.

Рішенням цього диференціального рівняння нагріву провідника буде

$$\theta = A + e^{-\frac{K \cdot F}{G \cdot c} t} + \frac{I^2 \cdot R_a}{K \cdot F}, \quad (2.22)$$

де A – постійна інтегрування, що залежить від початкових умов.

При $t = 0$ і $\theta = 0$, тобто в початковий момент провідник, що нагрівається має температуру навколишнього середовища.

Тоді для $t = 0$ отримаємо

$$\theta = A + \frac{I^2 \cdot R_a}{K \cdot F} \quad (2.23)$$

і

$$A = -\frac{I^2 \cdot R_a}{K \cdot F} \quad (2.24)$$

Підставляючи значення постійної інтегрування A , отримуємо

$$\theta = v - v_0 = \frac{I^2 \cdot R_a}{K \cdot F} \cdot \left(1 - e^{-\frac{K \cdot F}{G \cdot c} t}\right). \quad (2.25)$$

З цього рівняння випливає, що нагрів провідника через який протікає струм відбуваються по експоненційній кривій (рис. 2.5). Як видно, зі зміною часу підвищення температури провідника сповільнюється і температура досягає сталого значення.

З цього рівняння можна знайти температуру провідника в будь-який момент часу t з початку проходження струму через нього.

Величина усталеного перегріву може бути отримана, якщо в рівнянні нагріву прийняти час $t = \infty$

$$\theta_y = v_y - v_0 = \frac{I^2 \cdot R_a}{K \cdot F}, \quad (2.26)$$

де v_y – усталена температура поверхні провідника; θ_y – усталене значення перевищення температури провідника над температурою навколишнього середовища.

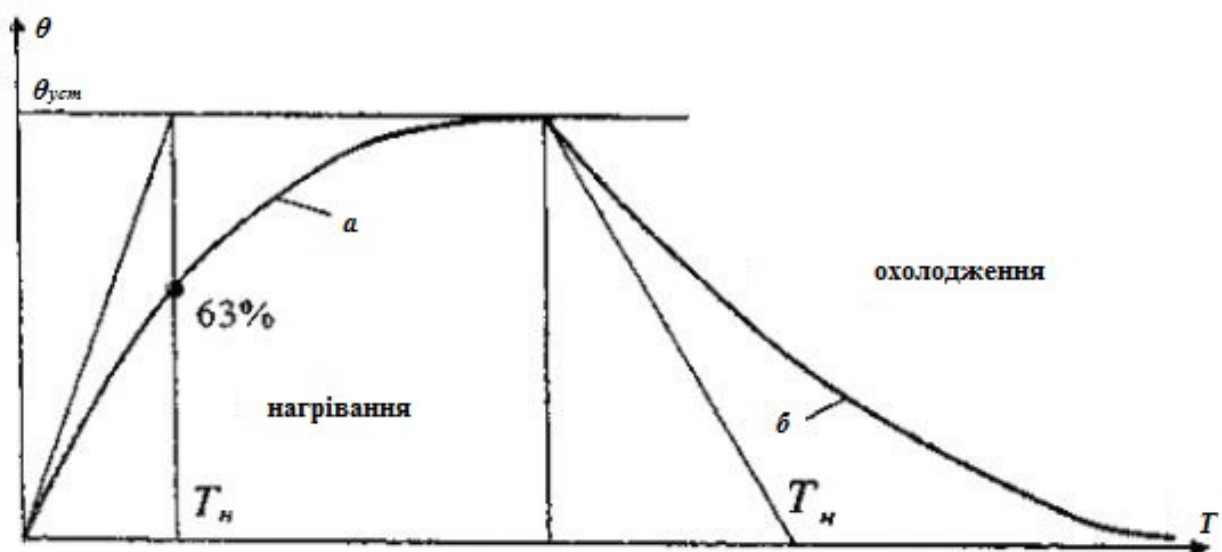


Рис. 2.5. Криві нагрівання та охолодження електрообладнання: a - зміна температури однорідного провідника при тривалому нагріванні; b - зміна температури при охолодженні

На підставі рівняння (2.26) можна написати, що

$$I^2 \cdot R_a = K \cdot F \cdot (v_y - v_0). \quad (2.27)$$

Звідси видно, що при досягненні усталеного режиму все тепло, що виділяється в провіднику буде віддаватися в навколишнє середовище.

Ввівши в основне рівняння нагріву θ_y і

$$T = \frac{G \cdot c}{K \cdot F} \quad (2.28)$$

отримаємо рівняння в більш простому вигляді

$$\theta = v - v_0 = \theta_y \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right). \quad (2.29)$$

Величина T називається постійною часу нагріву і являє собою відношення теплопоглинальної здатності тіла до його здатності віддавати тепло. Вона залежить від розмірів, поверхні і властивостей провідника або тіла і не залежить від часу і температури.

Для даного провідника ця величина характеризує час досягнення усталеного режиму нагріву і приймається за масштаб виміру часу на діаграмах нагріву.

Хоча з рівняння нагріву видно, що усталений режим настає через необмежено тривалий час, на практиці час досягнення сталої температури приймають рівним $3 - 4T$, так як при цьому температура нагріву перевищує 98% свого кінцевого значення θ_y .

Постійну часу нагріву для простих конструкцій, що проводять струм можна легко обчислити, а для апаратів і машин вона визначається шляхом теплових випробувань і подальших графічних побудов.

При великій щільності струму і інтенсивному нагріванні постійну часу нагріву розраховують наступним чином

$$T = \frac{G \cdot c}{K \cdot F - \theta_{\text{інт}}} = \frac{c \cdot \gamma \cdot q}{K \cdot F - \delta^2 \cdot k_0 \cdot \rho_0 \cdot \alpha \cdot q}. \quad (2.30)$$

Якщо припустити, що процес нагріву провідника відбувається без віддачі тепла в навколишній простір, то рівняння нагріву матиме такий вигляд

$$I^2 \cdot R_a \cdot dt = G \cdot c \cdot d\theta \quad (2.31)$$

і температура перегріву буде наростати за лінійним законом, пропорційно до часу

$$\theta = \frac{I^2 \cdot R_a}{G \cdot c} \cdot dt. \quad (2.31)$$

Якщо в рівняння (2.31) підставити $t = T$, то видно, що за період, який дорівнює постійної часу нагріву T провідник нагрівається до сталої температури

$$\theta_y = \frac{I^2 \cdot R_a}{K \cdot F}, \quad (2.32)$$

якщо за цей час не буде відбуватися тепловіддача.

Величина постійної часу нагріву для електричного обладнання коливається від декількох хвилин у шин до декількох годин у потужних трансформаторів і генераторів.

У таблиці 2.1 наводяться значення постійних часу нагріву для шин деяких типових розмірів.

Таблиця 2.1

Поперечний переріз, мм	Постійні часу нагріву, хв	
	для міді	для алюмінію
25 × 3	7,3	5,8
50 × 6	14,0	11,0
100 × 10	20,0	15,8

При відключенні струму припиняється підведення енергії до провідника, тобто

$$P dt = 0, \quad (2.33)$$

тому, починаючи з моменту відключення струму, провідник буде охолоджуватися.

Основне рівняння нагріву для цього випадку наступне

$$G \cdot c \cdot d\theta + K \cdot F \cdot \theta \cdot dt = 0. \quad (2.34)$$

Якщо охолодження провідника або обладнання починається з деякої температури перегріву θ_y , то рішення цього рівняння дасть зміну температури в часі в наступному вигляді

$$\theta = \theta_y \cdot e^{-\frac{t}{T}}. \quad (2.35)$$

Як видно з (рис. 2.5, б), крива охолодження є схожою до кривої нагріву, але оберненою опуклістю вниз (до осі абсцис).

Постійна часу нагріву також може бути визначена з кривої охолодження як дотична, що відповідає будь-якій точці цієї кривої.

Якщо ми розглянемо дві однакові ніхромові спіралі нагрівання з рівними постійними часу нагріву, але різними режимами навантаження, то побачимо що температура досягне свого усталеного значення за один і той же час. Проте величини усталених температур будуть різні. У більш навантаженої спіралі ця температура буде приблизно в два рази вищою (рис 2.6).

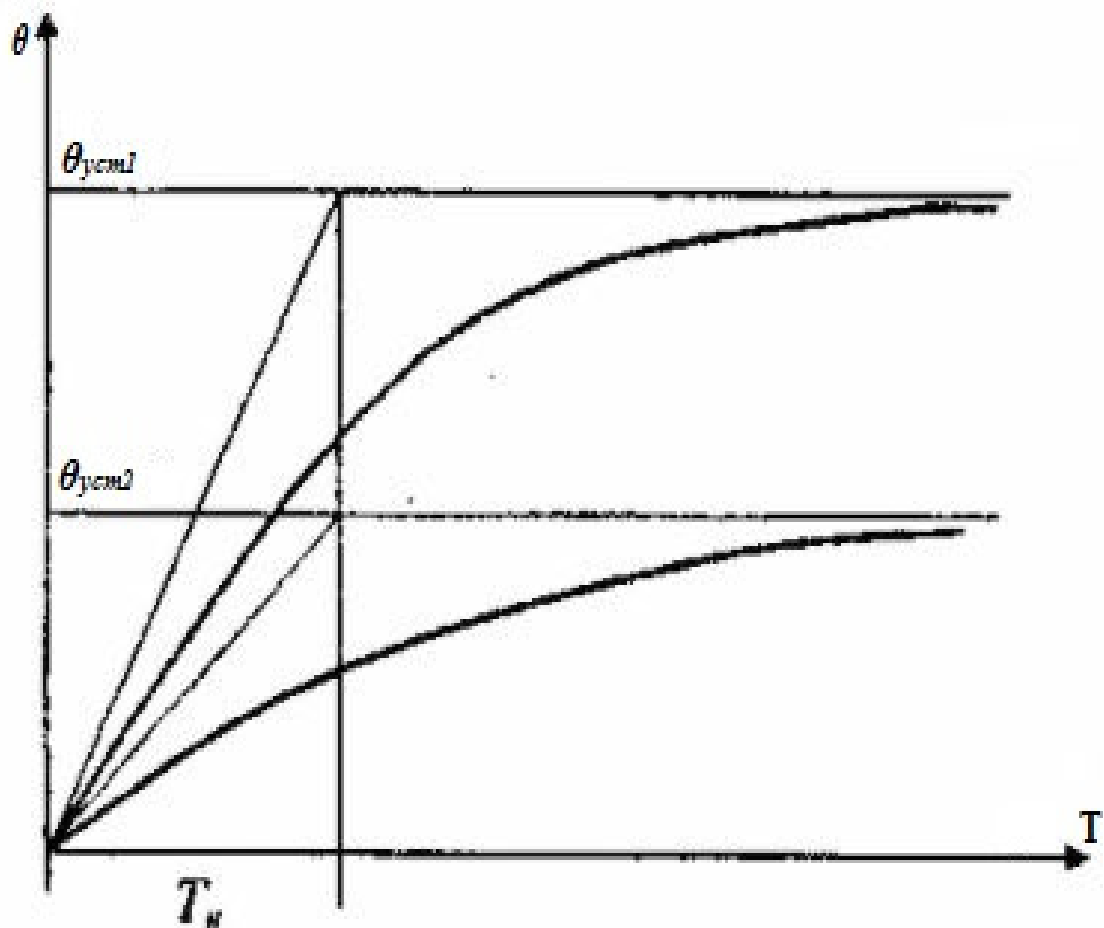


Рис. 2.6. Криві нагріву ніхромових спіралей

Виходячи з особливостей режимів нагріву і охолодження спіралей розрізняють декілька режимів роботи, основними з яких є: тривалий, короткочасний і повторно-короткочасний.

Тривалий режим – режим роботи спіралі при незмінному навантаженні такої тривалості, при якій перевищення температури спіралі досягає усталеного значення. Графіки зміни потужності P , і температури перегріву θ , яке відповідає тривалому режиму, наведені на рис. 2.7.

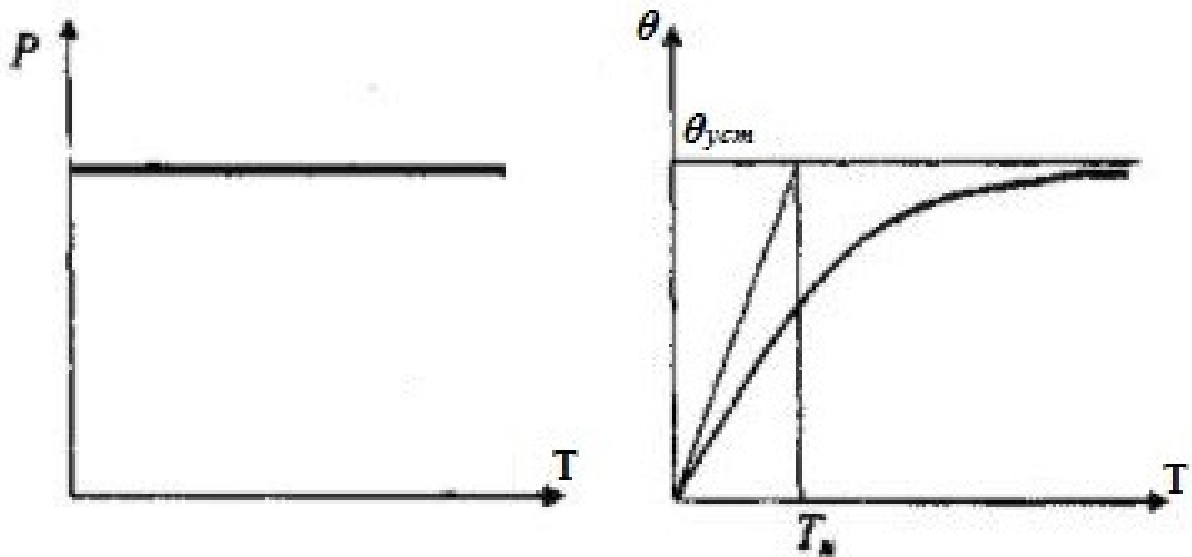


Рис. 2.7. Температурні характеристики спіралі при тривалому режимі роботи

Короткочасний режим – це режим, в якому періоди навантаження чергуються з періодами відключення спіралі. При цьому за час роботи спіралі, перевищення температури не досягає усталеного значення, а при відключенні всі частини спіралі охолоджуються до температури навколишнього середовища. Режим характеризується потужністю (моментом) і часом включення t_p .

Графіки, що характеризують короткочасний режим роботи, показані на рис. 2.8.

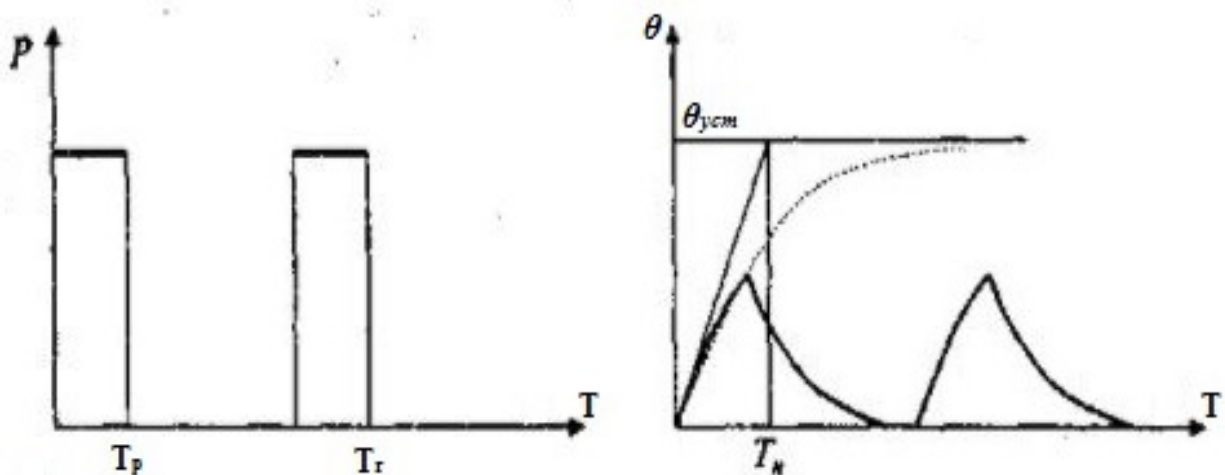


Рис. 2.8. Температурні характеристики спіралі при короткочасному режимі роботи

Повторно-короткочасний режим – це режим, при якому короткочасні періоди навантаження чергуються з періодами відключення спіралі, причому за час роботи перевищення температури спіралі не досягає усталеного значення, а при відключенні спіраль не встигає охолонути до температури навколишнього середовища (рис. 2.9). Даний режим характеризується навантаженням і тривалістю вмикання

$$t_{\text{ВМ}} = \frac{t_p}{t_p + t_0} \cdot 100\% \quad (2.36)$$

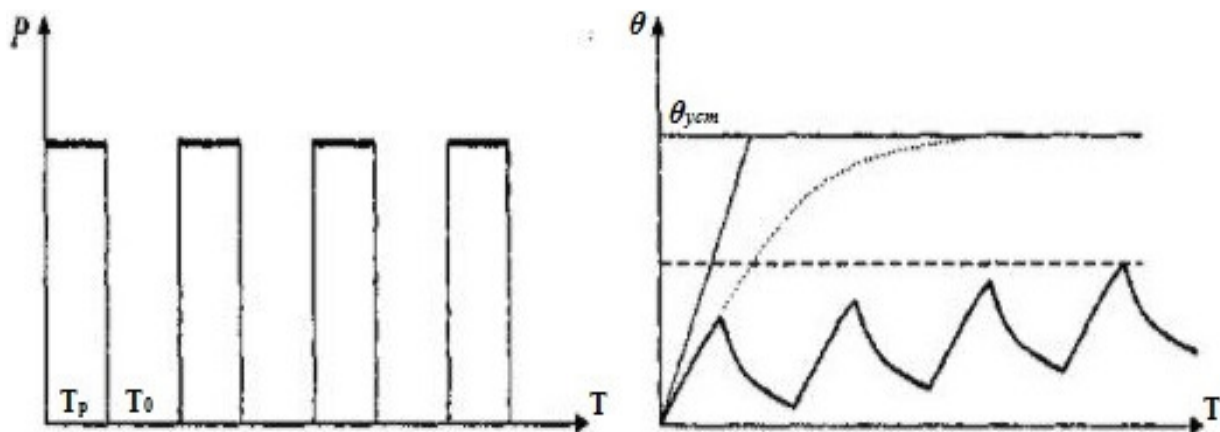


Рис. 2.9. Температурні характеристики спіралі при повторно-короткочасному режимі роботи

Експериментально Ісаак Ньютон довів, що швидкість охолодження приблизно пропорційна різниці температур між нагрітим тілом і навколишнім середовищем. Цей факт можна записати у вигляді диференціального рівняння

$$\frac{dQ}{dt} = \alpha S(T_s - T), \quad (2.37)$$

де Q – кількість теплоти; S – площа поверхні тіла, через яку передається тепло; T – температура тіла; T_s – температура навколишнього середовища; α – коефіцієнт теплопередачі, який залежить від геометрії тіла, стану поверхні, режиму теплопередачі і інших факторів.

Оскільки

$$Q = CT, \quad (2.37)$$

де C – теплоємність тіла, то диференціальне рівняння можна записати як

$$\frac{dT}{dt} = \frac{\alpha A}{c} (T_s - T) = k(T_s - T). \quad (2.39)$$

Рішення даного рівняння має вигляд

$$T(t) = T_s + (T_0 - T_s)e^{-kt}, \quad (2.40)$$

де T_0 – позначає початкову температуру тіла.

Таким чином, температура тіла зменшується експоненціально в міру охолодження, наближаючись до температури навколишнього середовища. Швидкість охолодження залежить від коефіцієнта теплопровідності

$$k = \frac{\alpha A}{c}. \quad (2.41)$$

Із збільшенням коефіцієнта k , наприклад, внаслідок збільшення площі поверхні, тіло буде охолоджуватись швидше (рис. 2.10)

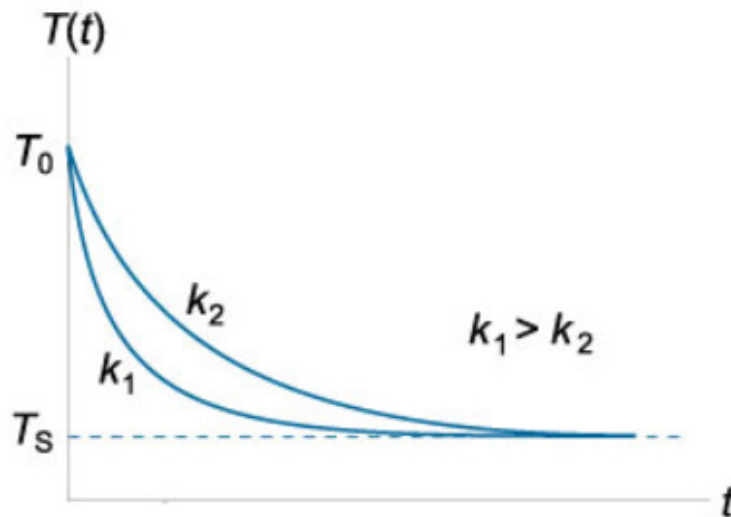


Рис. 2.10. Вплив коефіцієнта теплопровідності на охолодження об'єкта

2.3 Розрахунок ніхромового спірального нагрівача

Для розрахунку будуть потрібні наступні дані:

- потужність нагрівача P , Вт;
- напруга джерела живлення U , В;
- бажаний діаметр використовуваного дроту d , мм;
- питомий опір матеріалу, з якого виготовлено дріт ρ , Ом · мм²/м.

Спочатку, виходячи із заданих параметрів визначається сила струму, яка буде протікати через нагрівальний елемент

$$I = \frac{P}{U} \quad (2.42)$$

Далі необхідно виконати розрахунок опору всього нагрівального елемента

$$R = \frac{U}{I} \quad (2.43)$$

Знаючи діаметр дроту потрібно розрахувати його площу поперечного перерізу

$$S = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \quad (2.44)$$

Потім використовуючи інформацію про питомий опір ніхромового дроту знайдемо необхідну довжину ніхромового дроту, що забезпечить розрахований опір нагрівача

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S}, \quad (2.45)$$

Перетворивши (2.44) отримаємо

$$l = \frac{S \cdot R}{\rho}. \quad (2.46)$$

Для спрощення розрахунків і підбору оптимальної геометрії ніхромового дроту для спірального нагрівача мною була написана функція в програмному забезпеченні Matlab. Дана функція автоматично виконує всі необхідні операції.

Лістинг програмного коду в Matlab:

```
function [l,R]=spiral(P,U,d,p)
% l – розрахована довжина дроту;
% R – розрахований опір нагрівача;
% P – потужність нагрівача, Вт;
% U – напруга джерела живлення, В;
% d – діаметр дроту, мм;
% p – питомий опір матеріалу з якого виготовлено дріт,
Ом*мм^2/м;
I=P/U; % – розрахунок сили струму, що протікає через
нагрівач;
R=U/I; % – розрахунок опору всього нагрівального
елемента;
S=1/4*pi*d^2; % – розрахунок площі поперечного перерізу
дроту з якого виготовлено нагрівач;
l=S*R/p; % – розрахунок довжини дроту, що забезпечує
розрахований опір;
```

Використовуючи представлену програму розрахуємо необхідну довжину ніхромового дроту підбираючи його діаметр таким чином, щоб опір нагрівача відповідав розрахованому значенню при заданій потужності і напрузі джерела живлення.

Вихідними параметрами для розрахунків нагрівача є потужність $P = 120$ Вт, напруга джерела живлення $U = 24$ В, питомий опір матеріалу, з якого виготовлено дріт $\rho = 1.1$ Ом \cdot мм²/м та його діаметр d мм, що буде підбиратися.

Запишемо результати отриманих розрахунків у таблицю 2.2 для зручності їх аналізу та порівняння.

Таблиця 2.2

№	Діаметр d , мм	Площа поперечного перерізу S , мм ²	Довжина l , м	Сила струму I , А	Опір R , Ом
1	1	0.785	3.43	5	4.8
2	0.7	0.385	1.68		
3	0.5	0.196	0.86		
4	0.45	0.16	0.7		
5	0.3	0.07	0.3		

Проаналізувавши результати розрахунків необхідно зазначити, що обраховані значення довжини ніхромового дроту в перших трьох серіях роботи програми виявилися занадто великими, що перевищує габаритні можливості теплопроводу на який буде намотуватися дріт (рис. 2.11).

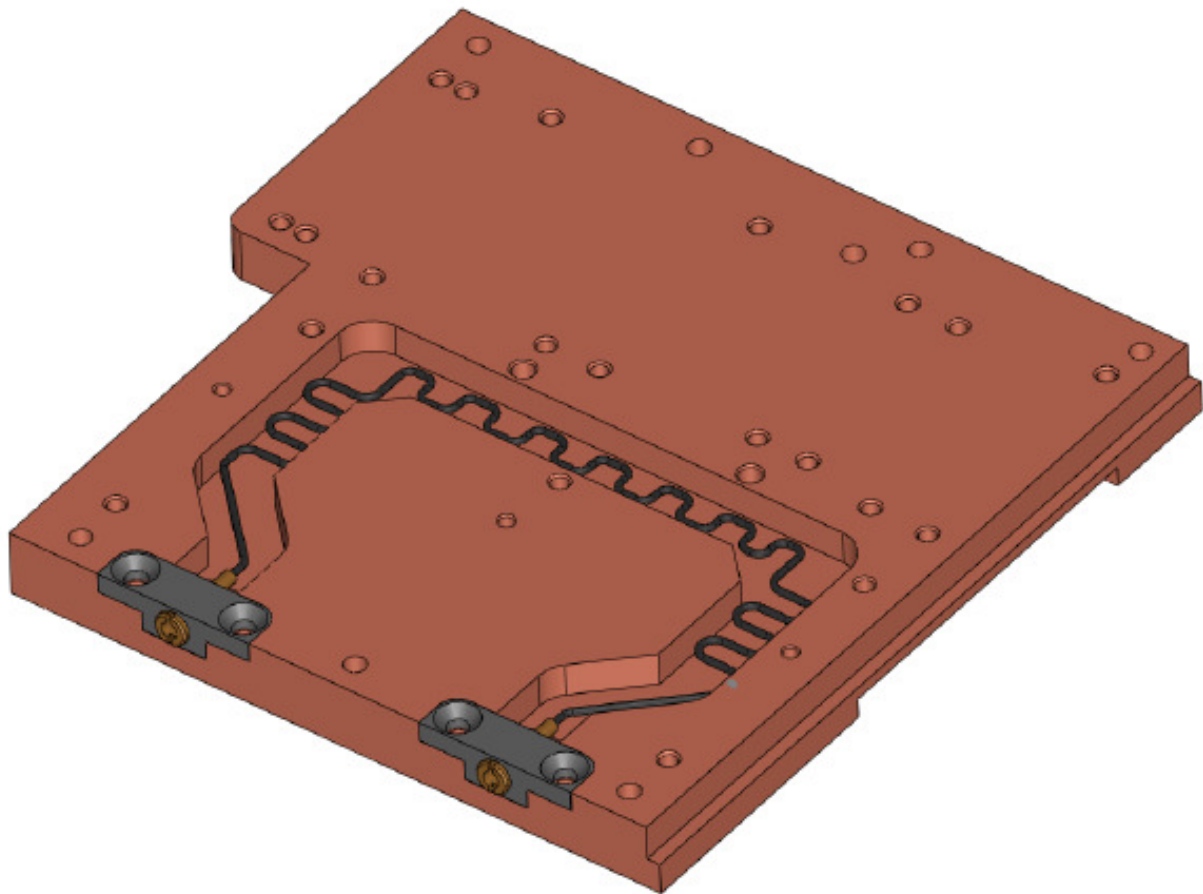


Рис. 2.11. Зовнішній вигляд теплопроводу розміщеного в корпусі приладу

Якщо ж розглянути результати останньої серії розрахунків і обрати їх як задовільні, то можна зіткнутися з проблемою ненадійності характеристик такого дроту. Це пов'язано з тим, що при силі струму в 5 A і високих температурах ніхромовий дріт діаметром 0.3 м може перегоріти, що в свою чергу призведе до виходу з ладу цілого пристрою. Щоб вирішити дану проблему необхідно зробити повторний розрахунок зменшивши потужність нагрівального елемента, що в нашому випадку є неприпустимим, оскільки це вплине на швидкість обігріву об'єкта. До того ж необхідно враховувати, що для кріплення такого тонкого дроту потрібно виготовляти спеціальний шаблон із термостійких матеріалів (рис. 2.12), на який безпосередньо і буде намотуватися ніхромовий дріт. Саме тому використання дроту з такими параметрами є недоцільним в даному випадку.

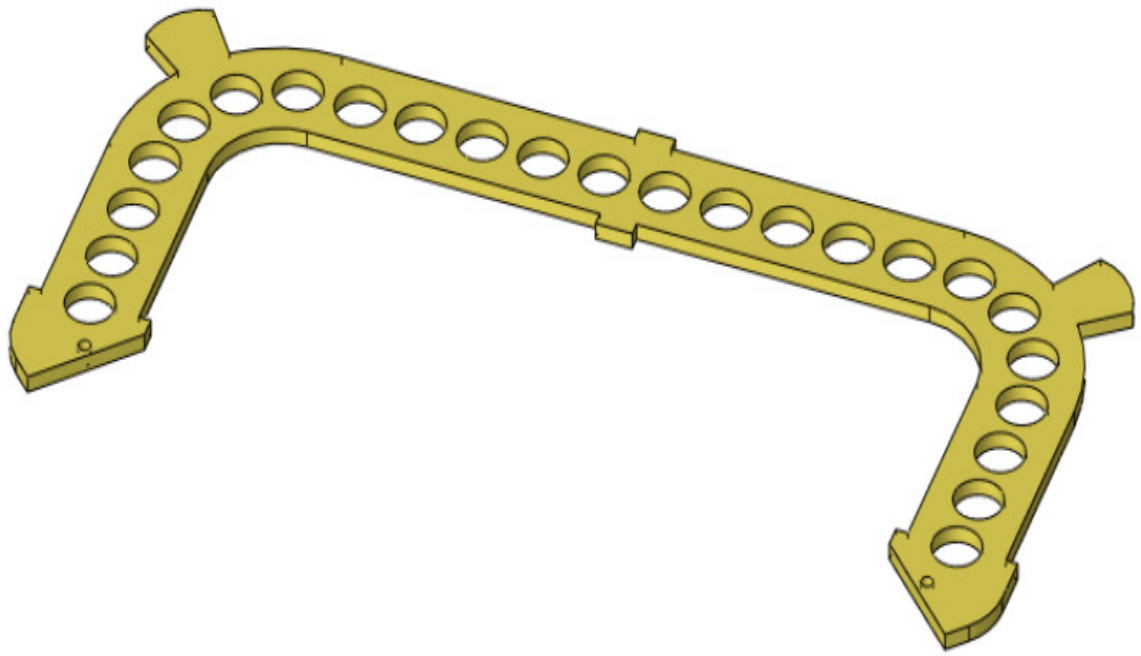


Рис. 2.12. Термостійкий шаблон

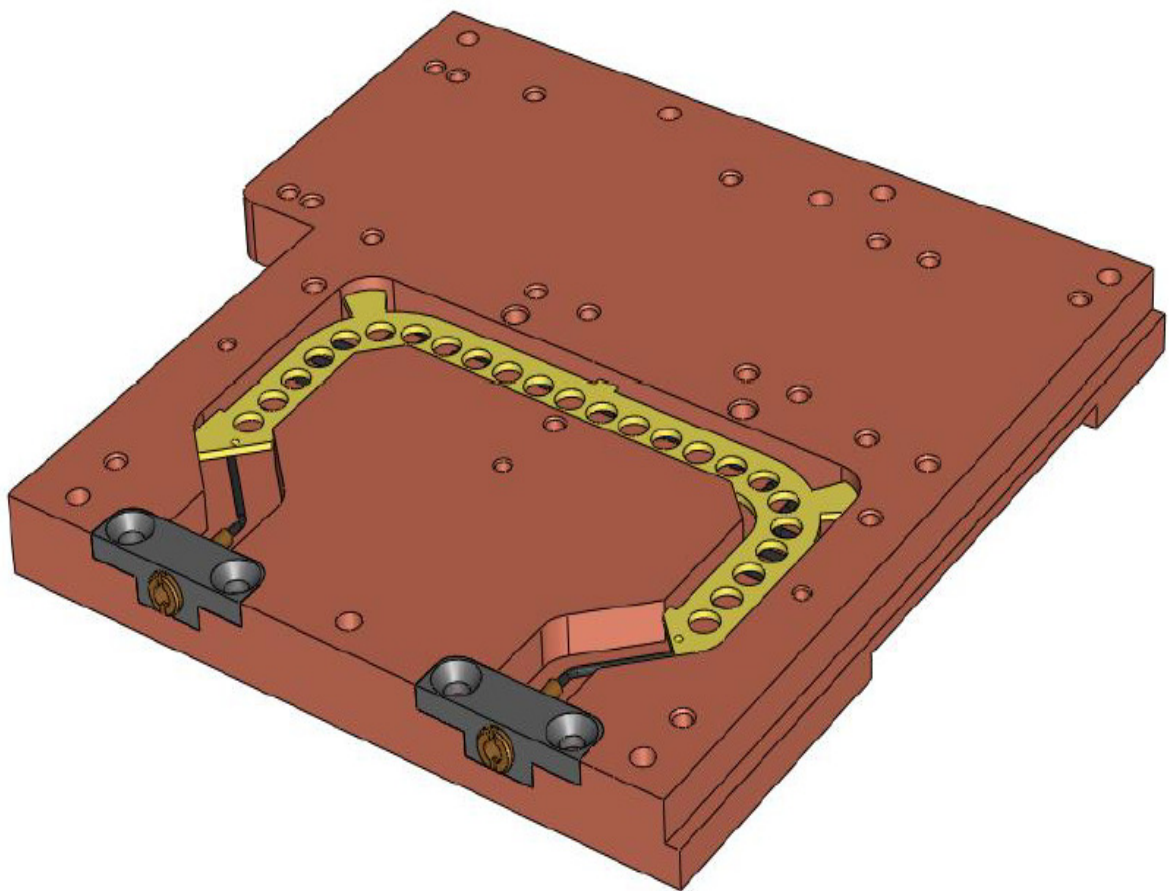


Рис. 2.13. Встановлений термостійкий шаблон

Найбільш оптимальним вибором буде ніхромовий дріт з довжиною 0.7 м та діаметром 0.45 мм. Дріт з такими параметрами забезпечує необхідне значення опору спірального нагрівача і без жодних проблем зможе бути встановленим на теплопроводі, який зображено на рис. 2.11.

В даному розділі представлений докладний опис принципу дії електричних нагрівачів, їх класифікація та особливості застосування. Проаналізовані різні режими роботи спіральний нагрівачів та наведені графіки, що їх характеризують. Представлено програмне забезпечення в середовищі Matlab за допомогою якого було проведено декілька серій розрахунків, в результаті яких були одержані різні геометричні параметри ніхромових нагрівальних елементів. Після аналізу яких було обрано найбільш оптимальніший, що буде застосуватися в системі термостатування.

РОЗДІЛ 3. РЕЛЕЙНИЙ ТЕРМОРЕГУЛЯТОР

3.1 Визначення закону керування релейного терморегулятора

Для коректної роботи приладового обладнання необхідно, щоб його температура задовольняла умові:

$$T_{min} \leq T \leq T_{max}, \quad (3.1)$$

де T – поточна температура приладу; T_{min} – нижня границя робочого температурного діапазону; T_{max} – верхня границя робочого температурного діапазону.

Виходячи з умови (3.1) закон функціонування для релейного терморегулятора можна записати у вигляді таблиці 3.1

Таблиця 3.1

Функції терморегуляції

	$T < T_{min}$ (переохолодження)	$T_{min} \leq T \leq T_{max}$	$T_{max} < T$ (перегрів)
Функція для терморегуляції	Нагрів	–	Охолодження

Проте при активному нагріві або охолодженні внаслідок нерівномірного прогріву конструкції приладу може виникнути геометрична деформація елементів конструкції приладу, причиною якої є виникнення неоднорідного механічного температурного розширення, а також виникнення так званих точок роси всередині або ззовні приладу, що може привести до його неприцездатності та навіть виходу з ладу.

Тому в умови функціонування приладу додатково вводиться обмеження на граничну зміну градієнта температури вигляду

Кафедра АКСУ			НАУ 20 15 77 000 ПЗ			
Виконав	Чернецький Я.В.		РЕЛЕЙНИЙ ТЕРМОРЕГУЛЯТОР	Літера	Аркуш	Аркушів
Керівник	Безкорвайний Ю.М.				63	100
Консульт.	Безкорвайний Ю.М.			151-201М		
Н-контроль	Дивнич М.П.					
Зав. Каф.	Тачиніна О.М.					

$$|dT| \leq dT_{max}, \quad (3.2)$$

де dT – швидкість зміни температури, dT_{max} – максимальна допустима швидкість зміни температури.

В залежності від поточного температурного стану функції для терморегуляції можна описати таблицею 3.2

Таблиця 3.2

Функції терморегуляції

Функція для терморегуляції	$T < T_{min}$ (переохолодження)	$T_{min} \leq T \leq T_{max}$	$T_{max} < T$ (перегрів)
$dT < -dT_{max}$ (охолодження)	Нагрів	Нагрів	Нагрів
$-dT_{max} \leq dT \leq dT_{max}$	Нагрів	–	Охолодження
$dT_{max} < dT$ (нагрів)	Охолодження	Охолодження	Охолодження

Виходячи з аналізу таблиці 3.2 видно, що для одночасного забезпечення умов (3.1) та (3.2) може виникнути парадоксальна ситуація — при стані переохолодження приладу є необхідність в його додатковому охолодженні, а в стані перегріву необхідний додатковий нагрів, щоб забезпечити потрібний градієнт зміни температури.

Для побудови логічної схеми використаємо апарат Булевої алгебри, для чого складемо скорочену таблицю станів 3.3, виключивши з неї взаємовиключні комбінації, для яких вихідний сигнал буде дорівнювати 0.

Таблиця булевих функцій

№	Вхідна умова				Вихідна функція	
	$T < T_{min}$ (X1)	$T_{max} < T$ (X2)	$dT < -dT_{max}$ (X3)	$dT_{max} < dT$ (X4)	Нагрів (S1)	Охолодження (S2)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						

Та її представлення у вигляді еквівалентної карти Карно (таблиця 3.4 і таблиця 3.5)

Таблиця 3.4

Еквівалентна карта Карно для функції нагріву

S1 (нагрів)		X1 · X2			
		00	01	10	11
X3 · X4	00	0	0	1	0
	01	0	0	0	0
	10	1	1	1	0
	11	0	0	0	0

Еквівалентна карта Карно для функції охолодження

S2 (охолодження)		X1 · X2			
		00	01	10	11
X3 · X4	00	0	1	0	0
	01	1	1	1	0
	10	0	0	0	0
	11	0	0	0	0

Таким чином результатом аналізу карт Карно наведених у таблиця 3.4 та таблиця 3.5 є булеві функції вигляду

$$S1 = \bar{X1} \cdot X3 \cdot \bar{X4} + X1 \cdot \bar{X2} \cdot X3 \cdot \bar{X4} + X1 \cdot \bar{X2} \cdot \bar{X3} \cdot \bar{X4}, \quad (3.3)$$

$$S2 = \bar{X1} \cdot \bar{X3} \cdot X4 + X1 \cdot \bar{X2} \cdot \bar{X3} \cdot X4 + \bar{X1} \cdot X2 \cdot \bar{X3} \cdot \bar{X4}, \quad (3.4)$$

Спростивши вирази (3.3) і (3.4) відповідно отримаємо

$$S1 = \bar{X4} \cdot (\bar{X1} \cdot X3 + X1 \cdot \bar{X2}), \quad (3.5)$$

$$S2 = \bar{X3} \cdot (\bar{X2} \cdot X4 + \bar{X1} \cdot X2). \quad (3.6)$$

3.2 Математична модель терморегуляції приладу

Як відомо температура фізичного тіла залежить від кількості теплоти, яка йому надана і визначається співвідношенням

$$Q = C \cdot T, \quad (3.7)$$

де Q – кількість теплоти, T – абсолютна температура тіла, C – теплоємність тіла.

Теплоємність тіла та теплота має аддитивні властивості, тобто якщо фізичне тіло складається з кількох частин з різною масовою часткою, то вираз для знаходження сумарної теплоємності буде мати вигляд

$$C = \sum_{i=1}^n c_i \cdot m_i, \quad (3.8)$$

де c_i – питома теплоємність фрагменту тіла, m_i – маса фрагменту тіла.

$$Q = \sum_{j=1}^k \Delta Q_j, \quad (3.9)$$

де ΔQ_j – частина теплоти яка надана або забрана в фізичного тіла.

Невідємним фізичним ефектом теплових процесів є властивість теплопередачі – це кількість теплоти яка може пройти через тіло, яке виступає в якості термоінтерфейсу або по іншому теплопередавача.

$$\Delta Q = \lambda \cdot \frac{S}{L} \cdot \Delta T, \quad (3.10)$$

де λ – це коефіцієнт теплопровідності, S – контактна площа теплопередавача, L – товщина термоінтерфейсу, $\Delta T = T_2 - T_1$ – різниця температур на сторонах теплопередавача.

Розглянемо узагальнену структуру приладу, який потребує терморегуляції (рис. 3.1)

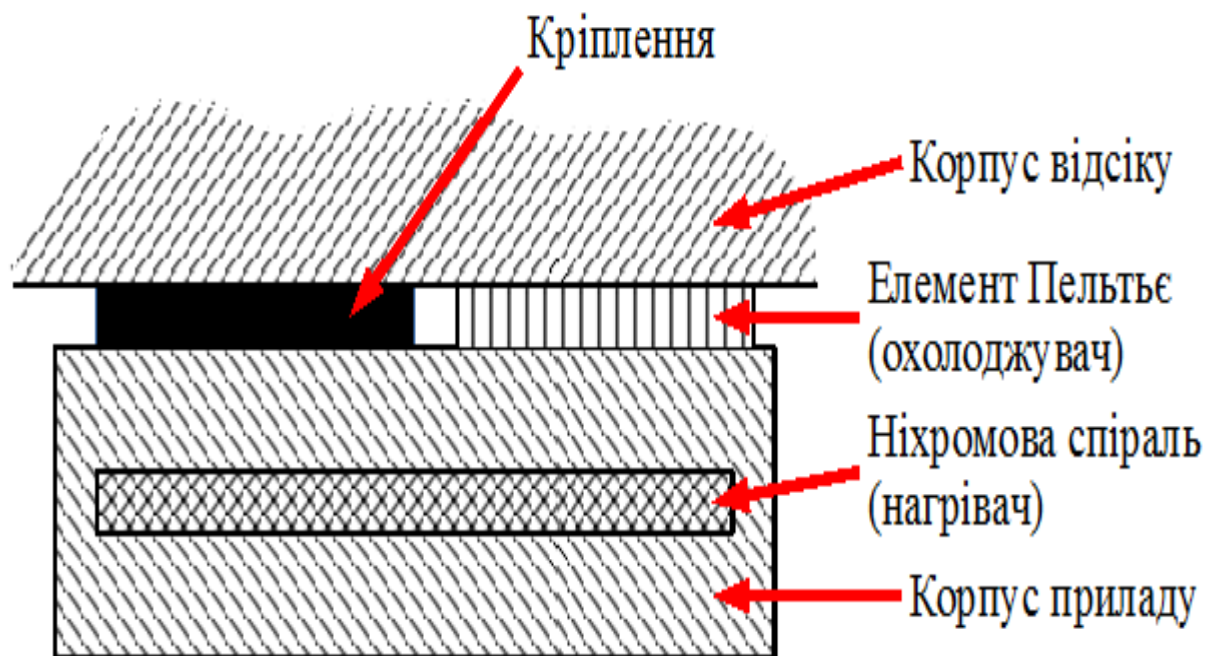


Рис. 3.1. Структура приладу

Відсік, в якому розташований прилад має власну систему терморегуляції, але допуски на діапазони температур є ширшими, ніж робоча температура приладу. Корпус приладу за допомогою інтерфейсу криплення, який виконує функції теплопроводу, жорстко розміщено на корпусі (рамі) відсіку. Між корпусом приладу та відсіком, де він розташований, розміщено елемент Пельтьє,

за допомогою якого виконується локальне охолодження приладу для забезпечення його робочої температури на час його функціонування.

Всередині приладу розташований ніхромовий спіральний нагрівач, який забезпечує підігрів приладу у випадку його переохолодження. Таким чином прилад може нагріватися або охолоджуватися за рахунок контакту в зоні кріплення до поверхні до температури, яка встановлюється у відсіку розташування, також його можна примусово доохолити за допомогою елемента Пельтьє та підігріти за допомогою ніхромового нагрівача.

Диференціальні рівняння, що описують кількість теплоти, що знаходиться у приладі мають вигляд

$$\frac{dQ}{dt} = \sum_{i=1}^n K_i \cdot S_i \cdot (T_i - T_0), \quad (3.11)$$

де K_i – коефіцієнт теплопередачі, S_i – площа теплового контакту тіла з джерелом теплоти, T_0 – температура тіла, T_i – температура джерела теплоти.

У зв'язку з невизначеністю теплових характеристик корпусу відсіку (його теплоємності, коефіцієнтів теплопровідності, джерел теплоти, тощо) та тим що його маса набагато вища за масу приладу з метою спрощення математичної моделі будемо вважати відсік тілом з нескінченною теплоємністю, що має задану температуру T_B у діапазоні $+10^\circ\text{C} - +30^\circ\text{C}$. Внаслідок відсутності активної конвекції всередині відсіку, тепловими втратами за рахунок контакту поверхні приладу з повітрям всередині відсіку можна знехтувати.

Позаяк ніхромовий нагрівач розташований всередині конструкції приладу, тому процесами теплопередачі всередині приладу також можна знехтувати при першому наближенні і при побудові математичної моделі враховувати лише кількість теплоти, що виділяється ним.

Особливістю роботи елемента Пельтьє як теплового насосу є те, що кількість перенесеного тепла пропорційна струму, проте воно сильно залежить від різниці температур між його поверхнями. Згідно технічного опису елемента Пельтьє типу TEC1-12712 при струмі 5А (споживана потужність 120 Вт) лінійно

апроксимована залежність тепла, що може бути ним перенесена від різниці температур має вигляд

$$dQ = -1.09 \cdot (T_2 - T_1) + 59.8. \quad (3.12)$$

А сам елемент Пельте має власну теплопровідність і виступає в якості термоінтерфейсу.

В процесі активної роботи обладнання також виділяє певну кількість теплоти, яке може досягати 50 Вт/с.

Виходячи з вищенаведених співвідношень та допущень узагальнена структурна схема системи термостабілізації релейного типу буде мати наступний вигляд (рис. 3.2)

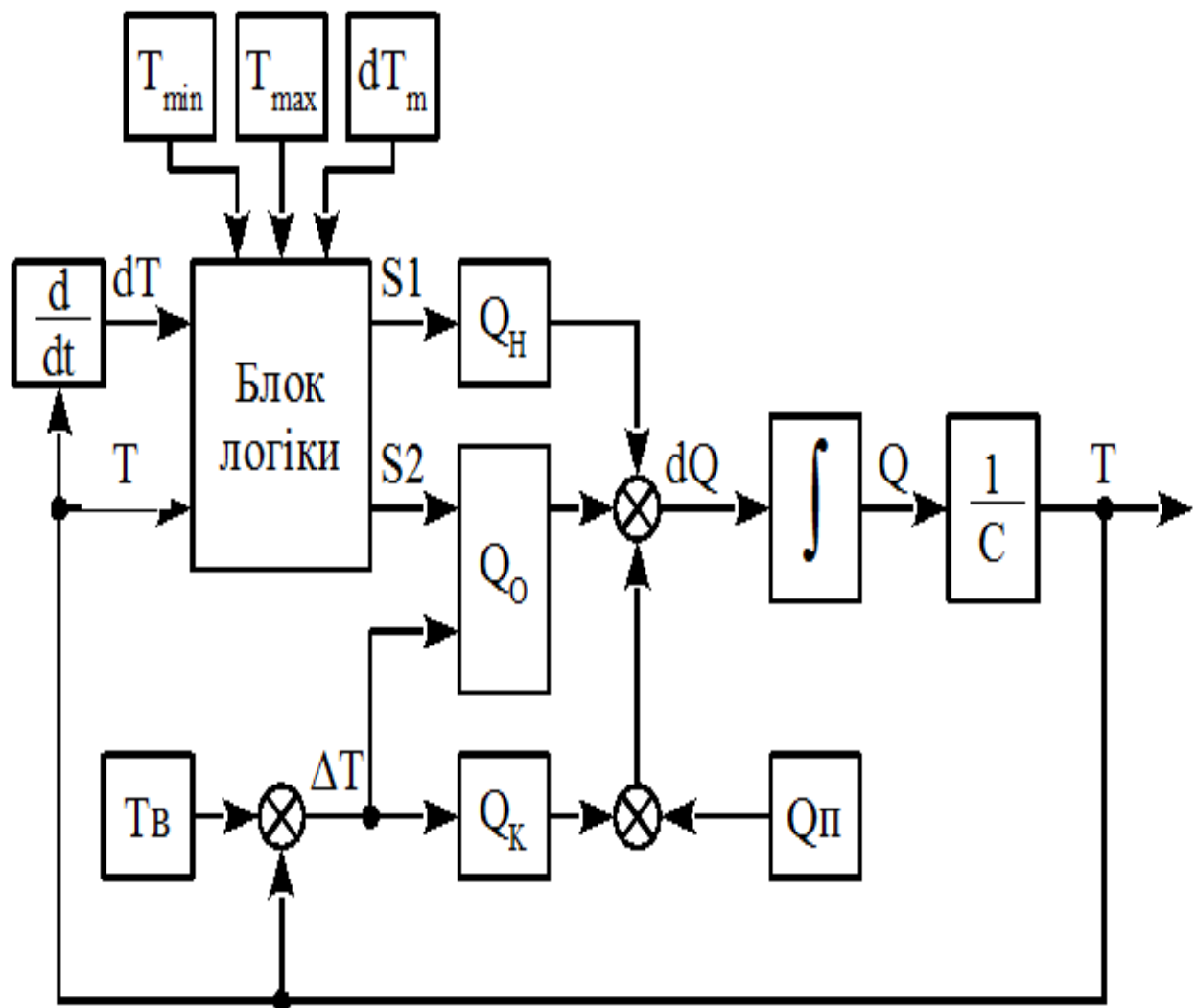


Рис. 3.2. Блок схема системи термостабілізації релейного типу

На даній схемі виконані наступні позначення:

1. T – температура приладу;
2. T_B – температура приладового відсіку;
3. T_{min} – мінімальна робоча температура приладу для штатної роботи;
4. T_{max} – максимальна робоча температура приладу для штатної роботи;
5. dT_m – максимальне допустиме значення зміни градієнту температури;
6. C – сукупна теплоємність приладу;
7. dQ – сукупна зміна кількості теплоти за одиницю часу;
8. Q – загальна кількість теплоти, що знаходиться у приладі;
9. S_1 – сигнал керування нагрівальним елементом;
10. S_2 – сигнал керування охолоджувальним елементом;
11. Q_H – кількість теплоти, що виділяється нагрівальним елементом за одиницю часу;
12. Q_o – кількість теплоти, що переноситься елементом охолодження;
13. Q_k – кількість теплоти, що переноситься через термоінтерфейс кріплення до конструкції приладового відсіку;
14. Q_{II} – кількість теплоти, що виділяється приладом в процесі його активної роботи.

Згідно даної структурної схеми та наведених співвідношень була складена імітаційна модель проектованої системи термостабілізації.

Для моделювання були задані наступні вихідні умови:

- температура у відсіку змінюється у діапазоні від $+15^{\circ}\text{C}$ до $+30^{\circ}\text{C}$;
- температура у відсіку відповідає мінімальній робочій температурі приладу ($+20^{\circ}\text{C}$);
- температура у відсіку відповідає максимальній робочій температурі приладу ($+25^{\circ}\text{C}$);
- температура у відсіку відповідає максимально допустимій температурі ($+30^{\circ}\text{C}$).

Результати моделювання наведені на рис. 3.3.

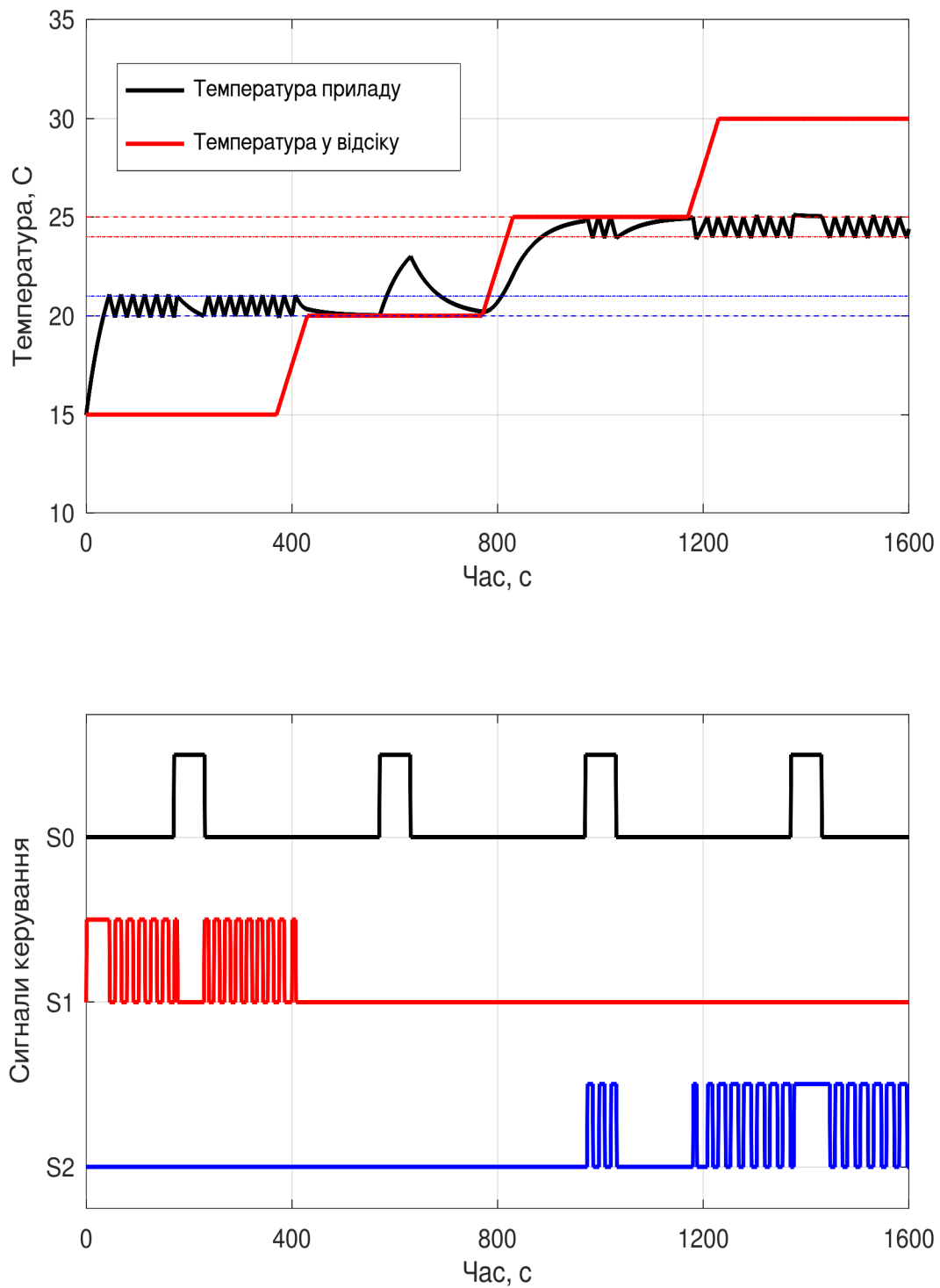


Рис. 3.3. Результати моделювання системи термостабілізації

З аналізу результатів моделювання можна зробити наступні висновки:

- в умовах температурного режиму 1 (час симуляції 0-400 с) потужність системи підігріву достатня для підтримання температури у заданому робочому діапазоні, і при активній роботі приладу внаслідок додаткового виділення тепла система керування її вимикає;

- в умовах температурного режиму 2 (час симуляції 400-800 с), внаслідок відповідності температури у відсіку мінімальному значенню робочого температурного діапазону приладу система термостабілізації є неактивною навіть в умовах активної роботи приладу і є, таким чином, найбільш сприятливим режимом;

- в умовах температурного режиму 3 (час симуляції 800-1200 с), коли температура у відсіку відповідає максимальному значенню робочого температурного діапазону приладу, система охолодження вмикається лише при активній роботі приладу;

- в умовах температурного режиму 4 (час симуляції 1200-1600 с) з максимально допустимою температурою у відсіку, система охолодження здатна підтримувати робочу температуру приладу, проте в умовах його активної роботи можливий вихід з оптимальних температурних умов внаслідок незначного перегріву приладу, проте це перевищення температури не є критичним.

В даному розділі був визначений закон керування релейного терморегулятора, який забезпечує коректну роботу приладового обладнання на борту літального апарату. Також була визначена математична модель приладу за рахунок якої буде здійснюватися безпосередня терморегуляція об'єкту, який піддається термостатуванню. Виходячи з отриманого закону керування і метематичної моделі терморегуляції була проведена симуляції роботи системи термостабілізації, з результаів якої можна зробити висновок, що виконані конструктивні рішення повинні забезпечити прийнятні температурні умови функціонування приладового обладнання в усьому заданому експлуатаційному діапазоні.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Сьогодні шкідливий вплив життєдіяльності людини на навколишній стан довкілля досягнув гігантських масштабів, що кличе за собою загрозливі проблеми.

Щоб у корені поліпшити положення, знадобляться цілеспрямовані і продумані дії. Відповідальна і діюча політика всього світу по відношенню до навколишнього середовища буде можлива лише в тому випадку, якщо люди будуть накопичувати надійні дані про сучасний стан середовища, обґрунтовані знання про взаємодію важливих екологічних факторів, розробляти нові методи зменшення і запобігання шкоди, що завдається природі.

Розроблена в даному дипломному проекті система термостатування бортового обладнання релейного типу, яка працює на базі комп'ютеризованої системи являється одним із небезпечних джерел забруднення навколишнього середовища.

4.1 Аналіз проблем впливу системи термостатування на стан довкілля

Весь світ оповитий мережею інформації, яку забезпечує нам комп'ютерна техніка. Більшість людей вже не уявляє своє життя без персонального комп'ютера, планшета, телефону, ми перестали враховувати ту шкоду, яку добровільно завдаємо собі і навколишньому середовищу. Вчені і дослідники впевнені, що настав час негайно вжити застережних заходів щодо зменшення обсягів шкоди, який щодня наноситься навколишньому середовищу. За деякими даними дослідників ООН, щоб створити один середньостатистичний комп'ютер, потрібно в 10 разів більше хімічних речовин і палива, ніж вага кінцевого винаходу. Багато сировини, яка використовується в збірці комп'ютерів, є токсичною. Викопне паливо лише посилює невирішену проблему глобального потепління. Відходи виробництва також не зникають, перетворюючись на звалища, або переробляються, здійснюючи поганий вплив на екологію.

Кафедра АКСУ			НАУ 20 15 77 000 ПЗ			
Виконав	Чернецький Я.В.		ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	Літера	Аркуш	Аркушів
Керівник	Безкоровайний Ю.М.				73	100
Консульт.	Фролов В.Ф.			151-201М		
Н-контроль	Дивнич М.П.					
Зав. Каф.	Тачиніна О.М.					

Багато користувачів і виробників помиляються, вважаючи, що з зменшенням і удосконаленням комп'ютерів, їх негативний вплив на екологію зменшується.

Рано чи пізно комп'ютер відживає свій вік, і його доводиться викидати на смітник. Однак робити це не рекомендується, тому що комп'ютерні або електронні відходи знаходяться в категорії небезпечних відходів.

Тому вчені підкреслюють важливість вторинного використання обладнання. Перш ніж викинути комп'ютер на смітник, необхідно остаточно переконатися, що він не підлягає відновленню і тільки потім звертатися до конфігуратора нового комп'ютера. Можливо, він буде частково корисний в іншій збірці.

На даний момент найбільш суворим з існуючих світових стандартів екологічності для комп'ютерної техніки є стандарт ТСО-99. У порівнянні з іншими він містить додаткові обмеження по частині екології, ергономіки, енергоспоживання і емісії пристроїв. Найбільш значимі ярлики, такі як «Блакитний ангел», що видається Німецькою сертифікаційною організацією як знак відповідності екологічним стандартам, є великою рідкістю в сфері електроніки. навпаки, широке поширення отримав логотип «Energy Star», якого удостоюються енергозберігаючі пристрої. Однак у випадку з ним проблема полягає в тому, що кожен виробник має право самостійно маркувати свою продукцію, не проходячи при цьому перевірок. З огляду на те що дана емблема не несе ніяких відомостей про дійсне енергоспоживання пристроїв, її цілком можна ігнорувати.

Багато країн прийняли законодавчі норми, що забороняють вивіз електронних відходів на полігони. Виявляється, викинутий комп'ютер становить серйозну загрозу для навколишнього середовища. Досить тільки згадати, що комп'ютерний монітор з електронно-променевою трубкою містить більше 600 грамів свинцю, також зустрічаються екземпляри, які містять в собі до трьох з половиною кілограмів свинцю.

Знижуючі горючість хлор і бромовмісткі добавки в пластмасах комп'ютера (до 1% за вагою пластмаси) при горінні служать основою для синтезу

надтоксичних з'єднань - діоксинів. Виходить, що таку «екологічну бомбу» не можна так просто викинути на смітник.

Існують закони, за якими всі електронні відходи повинні бути схильні до утилізації. При утилізації ЕОМ розбираються на складові компоненти: електронні плати, кабелю, процесори, блоки живлення і т.д. Монітори і USB розбирати не можна. Дані, наявні на жорстких дисках знищуються. Утилізація як ЕОМ, так і іншої оргтехніки включає в себе роботи по: навантаженні, транспортуванні, розвантаження, складання, демонтажу та вилучення різних матеріалів зі списаних технічних засобів, а також сортування, оброблення, пакування і продаж (або здачу на поховання) отриманих матеріалів спеціалізованим організаціям для подальшої переробки. Основними матеріалами, вилучаються з технічних засобів, є: чорний метал; кольорові метали (алюміній, мідь); пластик; плати, що містять дорогоцінні метали; скло. [18]

Організація по захисту навколишнього середовища Greenpeace з 2006 року оцінює виробників електроніки за кількістю важких металів і отруйних речовин, наприклад інгібіторів горіння, використовуваних ними при виробництві (інгібітор – це речовина, присутність якої в невеликих кількостях призводить до запобігання або уповільнення процесів горіння або корозії; вони знижують швидкість хімічних реакцій або пригнічують їх). Однак навіть оцінки такої організації, як Greenpeace, не можуть претендувати на об'єктивність. Адже в одних випадках вона використовує перевірену інформацію, що стосується, наприклад, заходів щодо утилізації відходів, а в інших спирається тільки на дані виробника. А якщо компанія не повідомляє ніяких відомостей, то автоматично опиняється на нижніх рядках рейтингу. Крім того, енергетичні витрати на виробництво і перевезення продукції також необхідно враховувати при оцінці екологічної ефективності. адже часи, коли техніка виготовлялася тільки на одному заводі, уже в минулому [19].

Сьогодні окремі комплектуючі закупаються на різних підприємствах по всьому світу, після чого здійснюється складання пристроїв. Тому найчастіше навіть самі компанії не можуть знати, які шкідливі речовини потрапляють в

атмосферу при виготовленні їх продукції і які саме метали або токсини в ній містяться. [20]

LCD-екрани – одне з джерел парникових газів, які набагато шкідливіші діоксиду вуглецю. Рідкокристалічні монітори швидко знайшли популярність, прийшовши на зміну громіздким моделями, які використовували електронно-променевоу трубку. І це не дивно, адже вони мають тонкий корпус і споживають значно менше електроенергії. За іншим аспектам екологічної безпеки дисплеї на основі рідких кристалів також вважалися проривом, тому що в них не використовувався газ, що містить свинець. Досить довго ніхто не звертав уваги на застосовуваний для чищення LCD -панелей трьохфтористого азоту (NF_3), і тільки в середині 2008 року вченими було доведено наявність даного хімічної речовини в атмосфері. Відкриття було вражаючим: по порівняно з діоксидом вуглецю (CO_2) (NF_3) є в 17 000 разів більш активним парниковим газом, а його атмосферний час напіврозпаду може складати від 550 до 740 світлових років (у (CO_2) - від 30 до 40 років). Закону, який обмежував би рівень викиду NF_3 , поки не існує.

Виявлення енерговитрат є таким же проблематичним процесом, як і визначення кількості матеріалів, придатних для вторинної переробки, і важких металів, що містяться в пристроях. Дивовижний результат був отриманий організацією Greenpeace в ході порівняльного аналізу декількох моделей ідентичних комп'ютерів з різних країн. У одного з виробників в елементах комп'ютера були виявлені сліди бромів. Схожа картина спостерігається і у інших виробників. Таким чином, надійним показником екологічності залишається тільки рівень енергоспоживання – серед комп'ютерної техніки першість належить лише декільком моделям, а решта різко відрізняються від лідерів за своїми характеристиками.[21]

Полівінілхлорид, що зазвичай позначається аббревіатурою ПВХ, - це різновид пластику, що застосовується в самих різних цілях. З нього зроблена зовнішня оболонка кабелів, якими з'єднуються пристрої, він оточує електричний провід комп'ютера. Це дешевий, міцний і вельми поширений матеріал.

Проте його практично неможливо правильно утилізувати. В результаті цього старий матеріал виявляється зазвичай на звалищі з відходами або, того гірше, спалюється з метою вилучення мідних жил і інших цінних компонентів. При його згорянні утворюється вкрай шкідливий канцерогенний діоксин. Звалища і хімічні поховання забруднюють джерела води. Єдиний вірний способом утилізування ПВХ є його відправлення в центр небезпечних відходів.

Будь-який комп'ютер можна переробити і пустити у вторинне використання. При вірній утилізації близько 95% відходів техніки здатні повернутися до нас в тому чи іншому вигляді, і приблизно 5% відправляються на звалища або заводи з переробки твердих побутових відходів. [22]

Співвідношення ручної і автоматизованої праці на фабриках по переробці комп'ютеризованої техніки залежить від її типу. Для монітора це співвідношення приблизно 50 на 50 - розбирання старих кінескопів є досить трудомістким заняттям. Для системних блоків і оргтехніки частка автоматичних операцій вище.

Перший етап завжди проводиться вручну. Це - видалення всіх небезпечних компонентів. В сучасних комп'ютерах таких компонентів практично немає. Але переробці піддаються, як правило, комп'ютери і техніка, випущені в кінці 90-х - початку 2000-х років, коли рідкокристалічних моніторів просто не існувало. А в кінескопах старих моніторів міститься чимало сполук свинцю. Інша категорія продукції, що містить небезпечні елементи, - ноутбуки. В акумуляторах і екранах застарілих моделей є певна кількість ртуті, яка також дуже небезпечна для організму. Важливо відзначити, що в нових моделях ноутбуків від цих шкідливих компонентів позбулися.

Потім видаляються всі великі пластикові частини. У більшості випадків ця операція також здійснюється вручну. Пластик сортується в залежності від типу і подрібнюється для того, щоб в подальшому його можна було використовувати повторно. Що залишилися після розбирання частини відправляють у великій подрібнювач-шредер, і всі подальші операції автоматизовані. Багато в чому технології переробки запозичені з гірничої справи - приблизно таким же способом витягують цінні метали з породи.

Подрібнені в гранули залишків комп'ютерів піддаються сортуванню. Спочатку за допомогою магнітів витягуються всі залізні частини. Потім приступають до виділення кольорових металів. Алюміній добувають з брухту за допомогою електролізу. У сухому залишку виходить суміш пластику і міді. Мідь виділяють способом флотації - гранули поміщають в спеціальну рідину, пластик спливає, а мідь залишається на дні. Сама ця рідина не отруйна, проте, робочі на заводі використовують захист органів дихання - щоб не вдихати пил [22].

Ініціатива 3R (Reduce, Reuse, Recycle), яка впливає з самої назви, спрямована на скорочення виробництва відходів, їх повторне використання переробку (рециклінг), що, в кінцевому рахунку, покликане сприяти вирішенню таких взаємопов'язаних між собою завдань як забезпечення економіки ресурсами, достатніми для її стійкого зростання, і тим самим для сталого розвитку суспільства, при одночасному зниженні негативного антропогенного впливу на навколишнє середовище.

Реалізація «Ініціативи 3R» спрямована на створення суспільства, орієнтованого на ресурсозбереження, на такий розвиток економіки, при якому стає можливим забезпечити охорону навколишнього середовища.

Цивілізовані країни давно вже навчилися переробляти сміття, зберігаючи природні ресурси.

Застосовуючи принципи «Ініціативи 3R» щодо вторинних ресурсів (reduce - скорочення, reuse - повторне використання, recycle - переробка), ми визнаємо, що те, яким чином ми використовуємо ресурси в ході їх життєвого циклу, важливо для процвітання світової економіки і навколишнього середовища.

4.2 Аналіз основних джерел впливу та їх наслідків на людину та її оточення

Все різноманіття живого на нашій планеті виникло, еволюціонувало і нині існує завдяки безперервному взаємодії з різними факторами зовнішнього середовища, пристосовуючись до їх впливу і змін, використовуючи їх в процесах життєдіяльності. І більшість цих чинників мають саме електромагнітну природу.

Протягом всієї епохи еволюції живих організмів електромагнітні випромінювання існують в місці їх існування - біосфері. Вчені послідовно виявляли все нові природні електромагнітні випромінювання в різних діапазонах електромагнітного спектра.

Електромагнітні поля і випромінювання буквально пронизують всю біосферу Землі, тому можна вважати, що всі діапазони природного електромагнітного спектра зіграли якусь роль в еволюції організмів, і що це якось позначилося на процесах їх життєдіяльності. [23]

Але, з розвитком цивілізації, існуючі природні поля доповнилися різними полями і випромінюваннями антропогенного походження, і вони грають важливу роль для всього живого на Землі. Особливо сильно вона розрослася в останні роки. І чим більше ми оточуємо себе ними, тим важливішою стає необхідність для нас дізнатися про те, як діють на все живе створені природою і нами самими електромагнітні поля.

Комп'ютери створюють електромагнітні випромінювання широкого спектра [24]: рентгенівське, ультрафіолетове, високочастотне (10 – 300 МГц), низькочастотне (5 Гц-300 кГц) і електростатичне поле.

При цьому слід зазначити наступне:

- рентгенівське випромінювання екрану монітора мізерне;
- ультрафіолетове випромінювання монітора, виміряне для ряду зразків, при довжині хвилі 0,32 мкм не перевищувало 200 мкВт/см^2 при гігієнічному нормативі 1000 мкВт/см^2 , що в кілька разів нижче, ніж інтенсивність сонячного ультрафіолету в хмарний день. Однак необхідно враховувати, що для випромінювання з довжиною хвилі менше 0,3 мкм нормативи стають в 1000 разів менше (тобто випромінювання набагато небезпечніше) і тому певна доза такого випромінювання може впливати на користувача. Хоча скло монітора повинно відсікати ультрафіолетове випромінювання коротше 0,3 мкм, ефективним захистом може служити комп'ютерний фільтр, що не пропускає випромінювання з довжиною хвилі менше 0,36 - 0,4 мкм;

- в високочастотній області (10-300 МГц) електричні поля не перевищують 0,01 В/м при нормативі 10 - 80 В/м, небезпеку становлять магнітні поля;

- результати вимірювань, які багаторазово проводилися для різних марок моніторів, показують, що в безпосередній близькості від монітора напруженості низькочастотного (3 - 300 кГц) електричного поля не перевищують 5 В/м при гігієнічних нормативах в різних країнах 50-500 В/м. В даний час не існує переконливих доказів, що подібні дії можуть завдати шкоди здоров'ю людини, проте небезпеку становлять магнітні поля і випромінювання більш низьких частот;

- напруженість електростатичного поля, створеного високовольтним джерелом живлення кінескопа, в 30 см від монітора може досягати значень 20 – 30 кВ/м і перевищувати існуючий норматив 20 кВ/м.

Головну небезпеку для користувачів представляють електромагнітне випромінювання монітора в діапазоні частот 20 Гц - 300 МГц і статичний електричний заряд на екрані. Рівень цих полів в зоні розміщення користувача зазвичай перевищує біологічно небезпечний рівень. Електромагнітне випромінювання поширюється у всіх напрямках і впливає не тільки на користувача, а й на оточуючих (до 5 м від монітора). [25]

Добре сконструйований комп'ютерний фільтр може помітно зменшити електростатичне поле.

Робота персональних комп'ютерів призводить до погіршення аероіонного складу повітря (зменшується кількість легких аероіонів, збільшується кількість важких). Головний біль через 2 години після початку робочого дня найчастіше буває через брак легких аероіонів. Понад 95% обстежених приміщень з комп'ютерами має нестачу легких аероіонів. Крім спеціальних заходів поліпшення аероіонного складу повітря в приміщенні є і прості рішення: свіже повітря, більше вологості, колючки кактуса можуть працювати як іонізатор пасивного типу.

При роботі на комп'ютері користувач має справу з активною зоровим навантаженням: він розглядає картинку на дисплеї, зчитує конкретні дані, символи, графіки, читає текст, постійно зосереджений, так як приймає рішення, від яких залежить його робота. Очі людини, що сидить за комп'ютером, повинні перефокусуватися 15 - 20 тис. разів протягом робочого дня.

Мерехтіння екрану, невисока різкість символів, наявність відблисків і спотворень, проблеми з оптимальним співвідношенням яскравості і контрастності створюють серйозні проблеми для очей і мозку користувача, що призводить до зорового дискомфорту, різі в очах, погіршення зору у 60 - 85% користувачів. [26]

Для користувачів комп'ютерів характерний набір суб'єктивних скарг на здоров'я. Сюди входять: різь в очах, головний біль, підвищена нервозність, втомлюваність, розлад пам'яті, порушення сну, випадання волосся, сухість і почервоніння шкіри, екземи та алергія, болі в животі і попереку, спричинені неправильним посадкою, біль в зап'ястях і пальцях, викликана неправильної конфігурацією робочого місця.

За узагальненими даними, у працюючих за монітором від 2 до 6 годин на добу функціональні порушення центральної нервової системи відбуваються в середньому в 4,5 рази частіше, ніж в контрольних групах, а хвороби серцево-судинної системи - в 2 рази частіше; хвороби верхніх дихальних шляхів - в 1,9 рази частіше; хвороби опорно-рухового апарату - в 3,1 рази частіше. Зі збільшенням тривалості роботи на комп'ютері співвідношення здорових і хворих серед користувачів різко зростає.

В СРСР широкі дослідження електромагнітних полів були розпочаті в 60-х роках. Був накопичений великий клінічний матеріал про несприятливу дію магнітних і електромагнітних полів, було запропоновано ввести нове захворювання "Радіохвильова хвороба" або "Хронічне ураження мікрохвилями". Надалі, роботами вчених в різних країнах було встановлено, що, по-перше, нервова система людини, особливо вища нервова діяльність, чутлива до електромагнітного поля, і, по-друге, що електромагнітне поле володіє так званім інформаційним впливом при дії на людину в інтенсивності нижче, ніж гранична

величини теплового ефекту. Результати цих робіт були використані при розробці нормативних документів в по всьому світу. [27]

Експериментальні дані як вітчизняних, так і зарубіжних дослідників свідчать про високу біологічну активність електромагнітного поля (ЕМП) в усіх частотних діапазонах. При відносно високих рівнях випромінювання ЕМП сучасна теорія визнає тепловий механізм впливу на людину. При відносно низькому рівні ЕМП (наприклад, для радіочастот вище 300 МГц це менше 1 мВт/см^2) прийнято говорити про нетепловий або інформаційний характер впливу на організм.

Численні дослідження в області біологічної дії ЕМП дозволять визначити найбільш чутливі системи організму людини: нервова, імунна, ендокринна і статева. Ці системи організму є критичними. Реакції цих систем повинні обов'язково враховуватися при оцінці ризику впливу ЕМП на населення. [27]

Біологічний ефект ЕМП в умовах тривалого багаторічного впливу накопичується, в результаті можливий розвиток віддалених наслідків, включаючи дегенеративні процеси центральної нервової системи, рак крові, пухлини мозку, гормональні захворювання.

Електромагнітні поля можуть бути особливо небезпечні для дітей, вагітних, людей із захворюваннями центральної нервової, гормональної, серцево-судинної системи, алергіків і людей з ослабленим імунітетом.

Велике число досліджень, виконаних в світі, і зроблені монографічні узагальнення, дають підставу віднести нервову систему до однієї з найбільш чутливих систем в організмі людини до впливу комп'ютерів. На рівні нервової клітини, структурних утворень по передачі нервових імпульсів, на рівні ізольованих нервових структур виникають суттєві відхилення при впливі ЕМП малої інтенсивності. Змінюється вища нервова діяльність і пам'ять у людей, що мають контакт з ЕМП. Ці особи можуть мати схильність до розвитку стресових реакцій. Певні структури головного мозку мають підвищену чутливість до ЕМП.

В даний час накопичено достатньо даних, що вказують на негативний вплив комп'ютерів на імунну систему організму. Результати досліджень вчених в

усьому світі дають підстави вважати, що при впливі ЕМП порушуються процеси імуногенезу, частіше в бік їх гноблення. Виникнення автоімунітету пов'язують не стільки зі зміною антигенної структури тканин, скільки з патологією імунної системи, в результаті чого вона реагує проти нормальних тканинних антигенів. Вплив ЕМП високих інтенсивностей на імунну систему організму проявляється в пригнічуючому ефекті на Т-систему клітинного імунітету.[28]

Для того, щоб знизити вплив негативних чинників при роботі з комп'ютерною технікою необхідно дотримуватися певних рекомендацій.

Висота столу повинна регулюватися від 680 до 800 мм, якщо це неможливо, стіл повинен бути заввишки 725 мм і мати підставку для ніг. Крісло користувача обов'язково повинно бути підйомно-поворотним і регульованим по висоті і кутам нахилу сидіння і спинки, а також по відстані спинки від переднього краю сидіння.

Відстань від очей користувача до екрану монітора повинна бути не менше 50 см, оптимально - 60 - 70 см. Відстань від екрану монітора до задньої стінки монітора сусіднього ряду повинно бути не менше 2 м, а відстань між бічними стінками - не менше 1,2 м . Площа на одного дорослого користувача повинна становити не менше 6 м², об'єм - не менше 20 м³.

Як джерела загального освітлення рекомендується застосовувати люмінесцентні лампи. Загальна освітленість повинна бути 300 - 500 люкс. Додаткові джерела повинні використовуватися тільки для підсвічування документів і не створювати відблисків на поверхні екрану. Природне світло з вікон повинен падати збоку.

4.3 Висновок

В даному розділі було розглянуто проблеми впливів комп'ютерної техніки на навколишнє середовище, людину та її оточення, а також проблеми утилізації комп'ютерів та можливі методи їх вирішення.

На сьогоднішній день сфера використання комп'ютерної техніки має дуже великі масштаби. Кожного дня випускаються все потужніші елементи та виходять із вжитку старі. Саме старі елементи являються джерелом забруднення навколишнього середовища. В своєму складі вони містять багато шкідливих

речовин, які ніяк не можуть бути перероблені самою природою і потребують утилізації.

Належна утилізація вимагає праці і грошових вкладень. Щоб розібрати комп'ютери, потрібно витратити чимало часу і докласти певних зусиль. Цей фактор часто змушує компанії уникати явної утилізації шляхом збутку комп'ютерів дочірнім організаціям.

Для подолання проблем утилізації кожній організації слід ретельно прораховувати способи утилізації відпрацьованої техніки. Доцільним кроком до подолання проблеми може бути реалізація «Ініціативи 3R», яка спрямована на створення суспільства, орієнтованого на ресурсозбереження, на такий розвиток економіки, при якому стає можливим забезпечити належний рівень охорони навколишнього середовища.

Останнім часом доводиться чути про шкідливий вплив комп'ютера як одного із засобів сучасних інформаційних технологій на організм користувача. Ступінь безпеки користувача комп'ютерною технікою регулюється безліччю різних міжнародних стандартів, які рік у рік стають все суворіше і суворіше. Останні дослідження вчених показали, що не тільки сама комп'ютерна техніка є безпосереднім фактором негативного впливу на організм людини, скільки неправильне її розташування, недотримання елементарних гігієнічних норм, що стосуються праці та відпочинку. Досліджуючи проблему впливу комп'ютера на здоров'я людини, стає очевидним, що кошти сучасних комп'юетних технологій безумовно впливають на організм користувача і «спілкування» з комп'ютером вимагає жорсткої регламентації робочого часу і розробки санітарно-гігієнічних заходів щодо зменшення та профілактики такого роду дій.

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Суб'єкти та об'єкти охорони праці при роботі системою термостатування бортового обладнання

В рамках даного дипломної проекту розглядається системою термостатування бортового обладнання релейного обладнання управління якої здійснюється за допомогою комп'ютерної техніки. Фактично можна вважати, що кожна комп'ютерна система являє собою станцію управління системою термостатування та в повному обсязі може виконувати поставлені задачі управління та контролю.

Потенційних користувачів комп'ютерних систем називають операторами. Виходячи з попередньо описаних умов, суб'єктом охорони праці являється кожен користувач комп'ютерних системи. Об'єктами охорони праці являються безпосередньо станція управління системою термостатування та приміщення або відсік в якому вона розташована.

5.2 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори при роботі з при роботі системою термостатування бортового обладнання

В сучасному світі наука та техніка розвивається невпинними темпами. Комп'ютерна техніка впроваджується в усі сфери життя. З широким впровадженням автоматизації та комп'ютеризації виникла потреба врахування психологічних можливостей людини, таких як швидкість реакції, особливості пам'яті та уваги, емоційний стан та ін. Поява операторської діяльності призвела до зменшення фізичної важкості праці, ризику виробничого травматизму, однак, разом з тим, на працюючу людину посилюється вплив нових, раніше невідомих або мало досліджених несприятливих виробничих факторів фізичного, хімічного і особливо психофізіологічного характеру.

Кафедра АКСУ			НАУ 20 15 77 000 ПЗ			
Виконав	Чернецький Я.В.		ОХОРОНА ПРАЦІ	Літера	Аркуш	Аркушів
Керівник	Безкоровайний Ю.М.				85	100
Консульт.	Козлітін О.О.			151-201М		
Н-контроль	Дивнич М.П.					
Зав. Каф.	Тачиніна О.М.					

Трудова діяльність операторів комп'ютерних систем відбувається у певному виробничому середовищі, де діють шкідливі та фізично небезпечні виробничі фактори:

- завищена температура повітря робочої зони;
- завищений рівень шуму на робочому місці;
- занижена вологість повітря;
- завищений рівень іонізуючого випромінювання робочої зони;
- завищений рівень статичної електрики;
- завищений рівень електромагнітних випромінювань;
- завищена напруженість електричного поля;
- завищена напруженість магнітного поля;
- відсутність природнього світла;
- недостатня освітленість робочої зони.

Зовнішні засоби діяльності, які в основному визначаються ергономічними показниками щодо організації робочого місця, форми та параметрів його елементів, просторового розташування основного і допоміжного устаткування, можуть суттєво знизити фізичні та психофізіологічні навантаження, що діють на користувачів комп'ютерів.

Порушення зорових функцій у операторів комп'ютерних систем пов'язані, в основному, з трьома групами факторів:

- параметрами освітлення робочого місця;
- характеристиками дисплея;
- специфікою роботи з комп'ютерними системами.

5.3 Організаційні та технічні заходи щодо зниження впливу небезпечних факторів

Електромагнітне випромінювання, вплив статичної електрики може викликати розлад нервової і серцево-судинної системи, а також призвести до зниження імунітету. Тривалий вплив статичної електрики спричиняє бронхо-легеневі захворювання, ураження шкіри. Освітлення робочого місця впливає на

зорів функції працівників. Недостатня іонізація повітря негативно позначається на роботі легень, складі крові людини. Знижена вологість повітря разом з підвищенням температури викликає порушення терморегуляції, роздратування шкіри.

Монітори комп'ютерних систем на основі електронно-променевої трубки є джерелом електромагнітного випромінювання та електростатичних зарядів. Електромагнітні випромінювання, напруженість електричного, щільність магнітного потоку поля в радіусі навколо монітора не повинні перевищувати допустимих значень.

Електростатичне поле шкідливо впливає на іонний склад повітря. Встановлено, що через три з половиною години роботи випромінювання ЕОМ знищує більшість негативно заряджених іонів. Відповідно до ДСН 2.2.2.542-96 «Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организация работы» [29] при оптимальному рівні іонізації повітря приміщення в якому працює оператор комп'ютерної системи, число позитивно заряджених іонів в 1 см³ повітря – 1500 – 3000, а число негативно заряджених іонів – 3000 – 5000.

Комп'ютерними системи, за якими працюють оператори, є джерелом тепловиділень. Вони призводять до підвищення температури і зниження вологості повітря на робочих місцях. Оскільки робота цих систем характеризується малими фізичними навантаженнями, то цей вид діяльності належить до категорії легких робіт за критерієм енерговитрат організму (відповідно ДСН 3.36.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» [30]). Таким чином, для нормального теплового самопочуття оператора важливо забезпечити певне співвідношення температури, відносної вологості та швидкості руху повітря, тобто певні мікрокліматичні умови. Такі умови визначаються категорією роботи, що виконується, та періодом року. При невідповідності параметрів мікроклімату встановленим вимогам у оператора можуть спостерігатися дискомфортне відчуття, погіршення самовідчуття та пониження працездатності; можуть виникати ушкодження або порушення стану

здоров'я. При надмірно високих температурах виникає велике навантаження на серцево-судинну систему, можливі захворювання шлунково-кишкового тракту. Неприятливим фактором є також і дуже низька температура, причиною виникнення котрої може бути недостатнє опалення робочого приміщення в холодну пору року, або довга робота на відкритій місцевості. До поширених захворювань, які виникають при роботі в умовах низьких температур, відносяться явища, які зв'язані з спазмом судин. Навіть незначне охолодження знижує захисні сили організму, які схиляють до захворювання органів дихання, загострення суглобного та м'язового ревматизму, виникненню ревматизму.

Шум також має негативний вплив на організм оператор. Він викликає психологічні та фізіологічні порушення, знижує працездатність, є причиною загальних та професійних захворювань, виробничого травматизму. Рівень шуму не повинен перевищувати 70 дБ.

Рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях операторів визначені ДСН 3.3.2-007-98 «Гигиенические требования к организации работы с визуальными дисплейными терминалами электронно-вычислительных машин» [31]. Основними заходами та засобами боротьби з підвищеним рівнем шуму, що були застосовані на робочому місці оператора є використання звукопоглинаючих та звукоізолюючих засобів, а також раціональне планування робочого місця.

Для захисту оператора від статичної електрики можуть бути використані наступні заходи:

- встановлення нейтралізаторів статичної електрики;
- покриття підлоги антистатичним покриттям;
- протирання екрану і робочого місця оператора антистатичною серветкою ;

Необхідна концентрація позитивних та негативних іонів в повітрі робочих зон може бути забезпечена застосуванням установок штучного зволоження та захисних екранів, що будуть заземлені.

При проектуванні штучного освітлення необхідно керуватися вимогами ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення» [32]. нормативне значення штучного освітлення $E = 200-500$ лк, природного - КПО = 1,2 %.

Розрахунок штучного освітлення проводиться методом коефіцієнта використання світлового потоку.

Основна розрахункова формула методу коефіцієнта використання світлового потоку:

$$\Phi_{\text{св}} = \frac{E_{\phi} \cdot k_3 \cdot S \cdot z}{n \cdot N \cdot \eta \cdot \gamma}, \quad (5.1)$$

де E_{ϕ} – фактична освітленість, лк; S – площа освітлюваного приміщення, м²; z – коефіцієнт нерівномірності освітленості; k_3 – коефіцієнт запасу, що враховує запилення світильників і знос джерел запасу світла в процесі експлуатації; N – число світильників в ряду; η – коефіцієнт використання світлового потоку ламп; n – число рядів світильників.

Світловий потік ламп розраховується за формулою:

$$F_{\text{св}} = n_{\text{л}} \cdot F_{\text{л}}, \quad (5.2)$$

де $n_{\text{л}}$ – кількість ламп в світильнику; $F_{\text{л}}$ – світловий потік лампи.

$$F_{\text{св}} = 2 \cdot 1500 = 3000. \quad (5.3)$$

Фактична освітленість розраховується за формулою:

$$E_{\phi} = \frac{F_{\text{св}} \cdot n \cdot \eta}{S \cdot k \cdot z}, \quad (5.4)$$

$$E_{\phi} = \frac{2000 \cdot 1 \cdot 0.52}{10 \cdot 1.4 \cdot 1.1} = 202.6. \quad (5.5)$$

5.4 Забезпечення пожежної безпеки

Джерелами, що спричинили загоряння можуть бути: іскра від розряду статичної електрики, іскри від переключення споживачів електричної енергії, коротке замикання в системах електропостачання системи термостатування та тепловипромінювання.

Пожежі на борту літальних апаратів є великою небезпекою і залишаються важливою причиною нещасних випадків. Пожежна безпека передбачає такий стан

об'єктів, при якому виключається можливість пожежі, а у разі його виникнення запобігає дії на людей небезпечних чинників пожежі і забезпечується захист матеріальних цінностей.

Пожежна безпека забезпечується системами запобігання пожежі і пожежного захисту, що включають комплекс організаційних заходів і технічних засобів.

Запобігання пожежі повинне досягатися наступними методами:

- запобіганням утворення горючого середовища;
- запобігання появи в горючому середовищі джерел.

Запобігання утворення горючого середовища повинне забезпечуватися:

- застосуванням негорючих і важко горючих речовин і матеріалів;
- ізоляцією горючого середовища;
- підтримкою концентрації горючих газів, парів, суспензій і (або) окиснювача в суміші зовні меж їх загоряння;
- достатньої концентрації флегматизатора в повітрі об'єкту, що захищається (його складової частини);
- підтримкою її температури і тиску, при яких розповсюдження полум'я виключається;
- максимальною механізацією і автоматизацією технологічних процесів, пов'язаних з застосуванням горючих речовин;
- встановленням пожежобезпечного оснащення по можливості в ізольованих приміщеннях;
- застосування пристроїв захисту виробничого устаткування з горючими речовинами від пошкоджень і аварій, встановленням відключаючих і відсікаючих та інших пристроїв;

Організаційні та організаційно-технічні заходи щодо забезпечення пожежої безпеки повинні бути направлені на такі цілі: організацію навчання, інструктажа; розробку правил поводження з авіапаливами і спецрідинами (розміщення стендів і розробка плакатів наочної агітації); контроль за дотриманням встановлених режимів технологічних процесів, правил і норм техніки безпеки, виробничої

санітарії та пожежної безпеки; організацію гасіння пожеж в резервуарному парку і проведення аварійно-рятувальних робіт.

5.5 Висновок

Робота з комп'ютерними системами спричиняє вплив на організм оператора цілої низки несприятливих факторів фізичного, хімічного та психофізіологічного походження. Тому, питання збереження здоров'я та професійного довголіття для людей, що працюють з комп'ютерними системами, є надзвичайно актуальним.

Найбільше скарг у людей, які працюють з комп'ютерними системами, припадає на зоровий дискомфорт (75–87%), головний біль (42–57%), загальну втому (40–52%). Досить часто скаржаться на біль в області шиї та спини, втому м'язів рук, підвищену роздратованість. Це пов'язано з тим, що така робота потребує високої напруженості зорових функцій, великої кількості стереотипних рухів, що виконуються лише м'язами кистей рук, опанування великих масивів інформації, що викликає активізацію уваги та інших вищих психічних функцій. Крім того, на робочому місці оператора діють несприятливі фактори фізичної природи - електростатичні поля, електромагнітні випромінювання широкого спектру частот. Не слід також нехтувати впливом факторів нервово-емоційного характеру.

Для того, щоб максимально нейтралізувати негативний вплив середовища на здоров'я оператора комп'ютерної системи, слід належним чином організувати його робоче місце.

ВИСНОВОК

В рамках дипломного проекту був проведений поглиблений аналіз принципу дії різних систем термостатування бортового обладнання, особливостей їх функціонування, переваг та недоліків і вимог, що ставляться до даних систем в час безперервного вдосконалення авіаційної обладнання і техніки.

В роботі були детально розглянуті компоненти, які будуть використовуватися при виготовленні запропонованої системи термостатування бортового обладнання релейного типу. В перших двох розділах присвячених цим елементам було ретельно оглянуто їх принцип дії та їх технічні характеристики. Було проведено групу розрахунків необхідних технічних характеристик ніхромового дроту з якого буде виготовлятися спіральний нагрівач. Після аналізу яких було обрано дріт з довжиною 0.7 м та діаметром 0.45 мм. Дріт з такими параметрами зможе забезпечити необхідне значення опору спірального нагрівача і без жодних проблем зможе бути встановленим на теплопроводі.

Також була створена імітаційна модель системи термостабілізації релейного типу за допомогою програмного забезпечення Matlab відповідно до розробленого закону керування релейного терморегулятора.

Було проведено симуляцію роботи системи термостабілізації у всьому експлуатаційному температурному діапазоні. На базі проведеної симуляції було виконано аналіз результатів роботи системи термостатування, який показав коректну працездатність елементів охолодження і нагрівання розробленої системи при всіх умовах температурного режиму, що засвідчує вдалу розробку закону керування ефективною, малогабаритною та конкурентоспроможною системи термостатування бортового обладнання релейного типу на базі елементів Пельтьє, що забезпечить досить велику надійність та ефективність на борту будь-якого літального апарату.

СПИСОК БІБЛОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Берман З.М., Канушін В.М., Миронов Ю.В., Мохова В.П., Шаригіна В.П., Шаригіна В.І., Інерційна та стабілізаційна навігаційна система "Лагода-М": результати розробки та випробувань./// Гіроскопія та навігація, – 2002, – вип. 4 (39);
2. Д.С. Громов, Тепловая защита и термостабилизация волоконно-оптического гироскопа в составе бесплатформенной инерциальной навигационной системы./ Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, – 2014, – №2 (90);
3. Бродянский В.М, Мартынов А.В. Вихревая труба для сепарация природного газа // Новости нефтяной и газовой техники. Сер. Газовое дело,- 1962;
4. Меркулов А.П. Исследование вихревой трубы//ЖТФ. 1956.-Т. 27, вып. 6.-с 1271-1276;
5. Чесноков Б.П., Карпов М.В., Наумова О.В., Мещеряков М.А., Разработка термоэлектрического охлаждающего устройства для изучения эффекта Пельтье./// Издательский дом "Наука образования" (Москва);
6. О.В Белова, А.В. Чернышева, Метод математического моделирования теплових источников в термоэлектрических элементах Пельтье. //Научное приборостроение, 2003, том 13, №4;
7. Гринкевич В.А., Исследование математической модели термостата на основе элемента Пельтье./ Сборник научных трудов Новосибирского государственного технического университета, – 2017, – №3.
8. Физическая энциклопедия.- М.: Большая Российская энциклопедия, 1998;
9. Сивухин С.Д. Общий курс физики.- М.: Наука, 1977;
10. Стилбанс Л.С. Физика полупроводников.- М., 1967;
11. Иоффе А.Ф. Полупроводниковые термоэлементы.- М., 1960;
12. Коржуев М.А., Иванова Л.Д., Свечникова Т.Е., Петрова Л.И., Гранаткина Ю.В., Земсков В.С. Использование распределенного эффекта Пельтье для термоэлектрического охлаждения в интервале температур 150- 300К // Институт металлургии и материаловедения им. А.А.Байкова;

13. Borg Wagner Co. Пат. 1200384 (Канада). - Оpubл. 27.07.70;
14. Buist R.J. Proc. of the XIV Int. Conf. on Thermoelectrics. SPb., Russia, 1995, p.301- 304;
15. Иванова Л.Д., Гранаткина Ю.В., Сидоренко Н.А. В сб.: Термоэлектрики и их применения. СПб., 2002, с.18- 23;
16. ГОСТ 10994-74 Сплавы прецизионные. Марки. – Введ. 2002-01-01. – М. : Издательство стандартов;
17. Вайнер А.Л. Каскадные термоэлектрические источники холода. – М., 1967
18. Юткевич Р. М. Экология персонального компьютера / Р. М. Юткевич // Экология личности : материалы ... конф. - М.; СПб., 1999. - С. 57-60;
19. . Власов В. Н. Компьютер и его воздействие на окружающую среду / В. Н. Власов // Экология ЦЧО РФ. - 2000. - № 2. - С. 114-117;
20. Волкотруб Л.П. Компьютер и здоровье / Л.П. Волкотруб, И. М. Егоров ; Санкт-Петерб. гос. мед. ун-т, Том. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники. - Томск : ТУСУР, 2006. - 157 с;
21. Литвак И. И. Внимание, компьютер! / И. И. Литвак, И. Е. Чернозубов // Банк. дело. - 1996. - № 7. - С. 34-37;
22. Концевой М. П. Здоровье и компьютер / М. П. Концевой // Информатика и образование. - 2000. - № 1. - С. 88-91;
23. Баландина Е. А. Защита от электромагнитных полей. Безопасность работы на компьютере : учеб. пособие к диплом. проектированию и практ. занятиям / Е. А. Баландина, А. М. Пономарев, О. Н. Хмарук; М-во образования Рос. Федерации, Владимир. гос. ун-т. - Владимир: ВлГУ, 2001. - 66 с. - Библи-огр.: с. 65;
24. Анализ результатов измерений интенсивности электромагнитного излучения мониторов персональных компьютеров / В. В. Коломиец [и др.] // Медицина труда, гигиена и эпидемиология на железнодорожном транспорте : сб. науч.-практ. работ. - М., 2001. - С. 15- 18. - Библиогр.: 2 назв;
25. . Григорьев О. А. Анализ многолетних данных измерения электромагнитного поля на рабочих местах пользователей персональных компьютеров в г. Москве / О. А. Григорьев, А. В.;

26. Демирчоглян Г. Г. Компьютер и здоровье : Факторы риска и системы оздоровления / Г. Г. Демирчоглян. - М. : Сов. спорт, 1995. - 62 с. : ил.
27. О. Кураев Г. А. Влияние электромагнитных излучений персональных компьютеров на организм человека / Г. А. Кураев, В. Б. Войнов, Ю. Н. Моргалев // Вестн. Томск. гос. ун-та. - 2000. - № 269. - С. 8-14. - Библиогр.: 58 назв;
28. Пивоваров Ю. П. Влияние электромагнитного излучения компьютера на здоровье и профилактика его вредного воздействия / Ю. П. Пивоваров, И. Е. Чернозубов // Мед. помощь. - 2002. - № 5. - С. 43-46.;
29. ДСН 2.2.2.542-96 «Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организация работы»;
30. ДСН 3.36.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень»;
31. ДСН 3.3.2-007-98 «Гигиенические требования к организации работы с визуальными дисплейными терминалами электронно-вычислительных машин»;
32. ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення»;
33. 2. Коструба С. Заземление компьютера: Правильное решение серьезной проблемы, к которой относятся несерьезно / С. Коструба // Новости электротехники. - 2003. - № 2. - С. 97-99. - Библиогр.: 2 назв;
34. Красножон Д. П. Выбор монитора с точки зрения безопасности для здоровья / Д. П. Красножон // Компьютер. хроника. - 2000. - № 3. - С. 87-90;
35. Особенности охраны труда при работе с дисплеями / В. В. Силантьев [и др.] // Опыт информатизации образования в высшей школе: состояние и перспективы : сб. ст. - Иваново, 1996. - С. 146-147;
36. Шумилин В. Оборудование рабочего места с ПЭВМ / В. Шумилин // Охрана труда и социал. страхование. - 2005. - N 9. - С. 66-70;
37. Красовский В. О. О классификации производственных вредностей на рабочих местах пользователей персональных компьютеров / В. О. Красовский, Г. Г. Аминова, Н. Н. Мустафин // Успехи соврем. естествознания. - 2003. - № 1. - С. 73-76;

ДОДАТКИ

Лістинг програми моделювання

```
dt=1;
tim=[0:dt:1600]';
T_ext=interp1([0,370,430,770,830,1170,1230,1600],[15,15,20,20,25,25,30,30],tim);
T=T_ext(1)*ones(size(tim));

dT=zeros(size(tim));
s1=zeros(size(tim));
s2=zeros(size(tim));
s0=zeros(size(tim));

s0(tim>200-30)=1;
s0(tim>200+30)=0;
s0(tim>600-30)=1;
s0(tim>600+30)=0;
s0(tim>1000-30)=1;
s0(tim>1000+30)=0;
s0(tim>1400-30)=1;
s0(tim>1400+30)=0;

C=897*0.620+385*0.120;
for i=2:length(tim),
    [s1c,s2c]=th_control(T(i-1),0,s1(i-1),s2(i-1));
    dQ_equipment=th_equipment(s0(i-1));
    dQ_corpus=th_corpus(T_ext(i-1),T(i-1));
    dQ_spiral=th_spiral(s1c);
    dQ_peltie=th_peltie(s2c,T_ext(i-1),T(i-1));
    dQ=dQ_equipment+dQ_corpus+dQ_peltie+dQ_spiral;
    dTi=dQ/C;
```



```

dT(i)=dTi;
T(i)=T(i-1)+dTi*dt;
s1(i)=s1c;
s2(i)=s2c;
end;

figure(1)
set(gcf, 'PaperUnits', 'centimeters');
set(gcf, 'PaperType', 'A4');
set(gcf, 'PaperPosition',[0 0 16 20]);
subplot(2,1,1)
plot(tim,T,'k-', 'linewidth',2,...
     tim,T_ext,'r-', 'linewidth',2,
     tim,25*ones(size(tim)), 'r--',...
     tim,24*ones(size(tim)), 'r:',...
     tim,21*ones(size(tim)), 'b:',...
     tim,20*ones(size(tim)), 'b--');
grid on
legend("Температура приладу",...
      "Температура у відсіку",...
      "location", "northwest");
xticks([0,400,800,1200,1600])
xticklabels([0,400,800,1200,1600])
ylim([10,35]);
xlim([0,1600]);

ylabel("Температура, C");
xlabel("Час, c");
subplot(2,1,2)
plot(tim,s0+4,'k-', 'linewidth',2,...

```

```

    tim,s1+2,'r-', 'linewidth',2,...
    tim,s2+0,'b-', 'linewidth',2)
yticks([0,2,4])
yticklabels({'S2','S1','S0'})
xticks([0,400,800,1200,1600])
xticklabels([0,400,800,1200,1600])
ylim([-0.5,5.5]);xlim([0,1600]);
grid on
xlabel('Час, с');
ylabel('Сигнали керування');

print -r300 -dpng sim_result.png

```

Лістинг підпрограми системи керування термостатом

```

function [s1,s2]=th_control(T,dT,s1,s2)
% Опис системи керування
T_hot_min=20; % Температура вмикання нагрівача
T_hot_max=21; % Температура вимикання нагрівача
T_cold_min=24; % Температура вимикання охолоджувача
T_cold_max=25; % Температура вмикання охолоджувача
dT_min=-1; % Мінімальне значення градієнта температури
dT_max=1; % Максимальне значення градієнта температури
if T<T_hot_min, s1=1; end;
if T>T_hot_max, s1=0; end;
if T>T_cold_max, s2=1; end;
if T<T_cold_min, s2=0; end;
    if dT>dT_max, s1=0;s2=1; end;
if dT<dT_min, s1=1;s2=0; end;

```

Лістинг підпрограми моделі спірального нагрівача

```
function Qhot=th_spiral(S1)
% Модель нагрівального елемента
if S1==1,
    Qhot=120;
else
    Qhot=0;
end;
```

Лістинг підпрограми моделі елемента Пельтьє

```
function dQ=th_peltie(S2,T_ext,T_int)
% Модель елемента Пельтьє
K = 1.05; % Коефіцієнт теплопередачі
W = 0.04; % Ширина елемента
H = 0.08; % Довжина елемента
L = 0.004; % Товщина елемента
dQ=K*W*H/L*(T_ext-T_int);
if S2==1,
    dQ=dQ - 2*(58.9-1.09*(T_ext-T_int));
end;
```

Лістинг підпрограми моделі тепловиділення обладнання

```
function dQ=th_equipment(S0)
% Модель тепловиділення обладнання
if S0==1,
    dQ=50;
else
    dQ=0;
end;
```

Лістинг підпрограми моделі теплового переносу

```
function dQ=th_corpus(T_ext,T)
```

```
% Модель теплового переносу на корпус відсіку
```

```
dQ=(0.24*0.11-0.08*0.04)/0.0022*(T_ext-T);
```