

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій,
автоматизації, електроінженерії та радіоелектроніки

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра електронної техніки

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри електронної техніки

Вовна О.В.

(підпис)

(ініціали, прізвище)

«__» _____ 2021 р.

Випускна кваліфікаційна робота

бакалавра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Розробка електронного пристрою термоелектричного контролю
дефектів у металах»

Виконав студент 4 курсу, групи ЕЛТ-17

(шифр групи)

спеціальності 171 Електроніка

(шифр і назва спеціальності)

Примас Валерій Вікторович

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник

Зорі А.А.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

*Засвідчую, що у цій випускній кваліфікаційній
роботі немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.*

Студент

(підпис)

Покровськ – 2021 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій,
автоматизації, електроінженерії та радіоелектроніки

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра електронної техніки

(повна назва кафедри)

Захист відбувся _____

(дата)

з оцінкою _____

Секретар ДЕК _____

(підпис)

Випускна кваліфікаційна робота

бакалавра

Тема: «Розробка електронного пристрою термоелектричного контролю дефектів
у металах»

Спецчастина: _____

Виконавець, студент

гр. ЕЛТ – 17

Примас В.В.

(підпис, дата, П.І.П)

Керівник

проф. Зорі А.А.

(підпис, дата, П.І.П)

Консультанти:

проф. Вовна О.В.

(підпис, дата, П.І.П)

проф. Зорі А.А.

(підпис, дата, П.І.П)

доц. Лактіонов І.С.

(підпис, дата, П.І.П)

ст. викл. Тюрін Є.А.

(підпис, дата, П.І.П)

Нормоконтроль

проф. Вовна О.В.

(підпис, дата, П.І.П)

Покровськ – 2021

**Державний вищий навчальний заклад
"Донецький національний технічний університет"**

Інститут, факультет Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації, електроінженерії та радіоелектроніки

Кафедра Електронна техніка

Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр

Галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації

(шифр і назва)

Спеціальність 171 Електроніка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри електронної техніки

Вовна О.В.

« _____ » 2021 року

З А В Д А Н Н Я
НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Примас Валерій Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка електронного пристрою термоелектричного контролю дефектів у металах

керівник проекту (роботи) Зорі Анатолій Анатолійович, д.т.н., проф.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 16.04.2021 року № 173

2. Строк подання студентом проекту (роботи) _____

3. Вихідні дані до проекту (роботи)_____

Технічна документація та матеріали з переддипломної практики

4.Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) аналіз та характеристика об'єкту; обґрунтування та розробка структурної схеми електронного пристрою; розробка принципової схеми електронного пристрою; оцінка метрологічних характеристик; синтез мікропроцесорної частини електронного пристрою; розробка конструкції та зовнішнього вигляду електронного пристрою.

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

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	проф. каф. ЕТ, д.т.н., проф. Зорі А.А.		
2	зав. каф. ЕТ, д.т.н., проф. Вовна О.В.		
3	доц. каф. ЕТ, к.т.н., доц. Лактіонов І.С.		
А	ст. викл. каф. ОП, Тюрін Є.А.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/П	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз технічних характеристик і параметрів термоелектричного контролю дефектів у металах		
2	Удосконалення способу вимірювання значення термо-е.р.с. зі застосуванням чотирьох точок		
3	Розробка структури електронного пристрою термоелектричного контролю дефектів у металах		
4	Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві		

Студент

_____ (підпис)

Примас В.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Зорі А.А.

_____ (прізвище та ініціали)

ЛИСТ ЗАУВАЖЕНЬ

Посада П.І.Б.	Суть зауваження, оцінка та підпис

АНОТАЦІЯ

Примас, В.В. Розробка електронного пристрою термоелектричного контролю дефектів у металах / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» зі спеціальності 171 Електроніка. – ДВНЗ «ДонНТУ», Покровськ, 2021.

Пояснювальна записка: 56 стор., 21 рис., 15 посилань.

Розглянуто основні принципи роботи термоелектричного пристрою, який базується на диференційному сенсорі з багатьма точками контакту.

Виконано дослідження електричних характеристик і параметрів еквівалентного джерела термо-е.р.с. під час дії різних комбінацій складових джерел термо-е.р.с. Виявлено, що зміна опору навантаження впливає на значення внутрішнього опору та потужність джерела термо-е.р.с. Запропоновано визначати значення еквівалентного джерела під час паралельного підключення джерел термо-е.р.с.

Розроблено електронний пристрій для дослідження характеристик і параметрів термо-е.р.с., що дозволяє здійснювати дослідження під час зміни температури в широких межах. Виявлено вплив зміни опору навантаження на електричні характеристики і параметри термоелектричного джерела.

Розроблено електронний пристрій термоелектричного контролю дефектів у металах, який може застосовуватися для вимірювального контролю марок сталей, якості термічної обробки та контролю пластичної деформації.

Ключові слова: вимірювання, температури, е.р.с., похибка, дефект, метал, електронний пристрій, програмне забезпечення.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК І ПАРАМЕТРІВ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНОГО КОНТРОЛЮ ДЕФЕКТІВ У МЕТАЛАХ.....	9
1.1 Аналіз принципу дії термоелектричного спосіб неруйнівного контролю дефектів у металах.....	9
1.2 Аналіз схемних рішень для здійснення вимірювання термо-е.р.с.....	12
1.3 Основні метрологічні вимоги для термоелектричних вимірювань.....	14
1.4 Аналіз способів вимірювального контролю величини термо-е.р.с.....	17
1.5 Висновки.....	21
2 УДОСКОНАЛЕННЯ СПОСОБУ ВИМІРЮВАННЯ ЗНАЧЕННЯ ТЕРМО-Е.Р.С. ЗІ ЗАСТОСУВАННЯМ ЧОТИРЬОХ ТОЧОК.....	22
3 РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ЕЛЕКТРОННОГО ПРИСТРОЮ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНОГО КОНТРОЛЮ ДЕФЕКТІВ У МЕТАЛАХ.....	30
3.1 Розробка структурної схеми електронного пристрою.....	30
3.2 Розробка блоку керування тепловою камерою.....	33
3.3 Розробка електронного пристрою термоелектричного контролю дефектів у металах.....	40
ВИСНОВКИ.....	47
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	48
ДОДАТОК А – Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві.....	50

ВСТУП

Наявність у металах і сплавах дефектів є причиною зниження їх стійкості до корозії, а також зменшення терміну експлуатації конструкцій, що виготовлені з цих матеріалів. Періодичний вимірювальний контроль для ідентифікації виникнення дефектів дозволяє застосувати запобіжні заходи для уникнення нещасних випадків під час виробництва, а також техногенних катастроф, що дозволить зберегти здоров'я та життя робітників підприємства.

Один із самих складних процесів неруйнівного вимірювального контролю виробів з металів здійснюється для геодезичних свердловин. Особливо складно його виконувати під час роботи обладнання. Не всі способи неруйнівного вимірювального контролю можна використовувати для здійснення перевірки устаткування, що працює.

Одним з перспективних способів є термоелектричний. Застосування цього способу дозволяє здійснювати неруйнівний вимірювальний контроль у реальному масштабі часу сплавів і металів під час виробництва та експлуатації. У теперішній час промисловістю виготовляються дефектоскопи зі застосуванням термоелектричного способу вимірювального контролю, які не можуть з достатньою величиною ймовірності здійснювати відтворення результатів вимірювання. Також ці дефектоскопи не забезпечують необхідних значень показників надійності, що пояснюється:

- наявністю перехідного опору під час дії контакту вимірювального електрода зі зразком, що досліджується;
- суттєвим впливом зміни температури гарячого вимірювального електрода під час здійснення вимірювань;
- залежністю термо-е.р.с. від зміни різниці температур між гарячим і холодним вимірювальним електродами;
- величиною площі контакту гарячого електрода зі зразком, що досліджується.

До теперішнього часу не виконувалися експериментальні дослідження електричних характеристик джерел термо-е.р.с. Під час виготовлення обладнання для геодезичних досліджень свердловин зазвичай застосовуються два типи марки сталі, а саме 40Х та 35ХГСА. З цих марок сталі виготовляються такі вироби, як плунжери, шестерні, штоки, кулачкові та колінчаті вали, а також інші деталі та механізми, які повинні мати підвищену величину міцності. Ці марки сталі мають леговану структуру, що містить в своєму складі різні карбіди, у яких є термоелектричні властивості. Тому під час здійснення термоелектричного вимірювального контролю таких структур результат вимірювання залежить від еквівалентного значення термо-е.р.с.

Отже, існує потреба в розробці електронного пристрою термоелектричного контролю дефектів у металах для дослідження електричних характеристик і параметрів еквівалентної термо-е.р.с., яка має місце під час контакту в деяких точках вимірювального електрода зі зразком, що досліджується, під час здійснення неруйнівного вимірювального контролю легованих сталей.

1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК І ПАРАМЕТРІВ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНОГО КОНТРОЛЮ ДЕФЕКТІВ У МЕТАЛАХ

1.1 Аналіз принципу дії термоелектричного способу неруйнівного контролю дефектів у металах

Для здійснення неруйнівного контролю металів і сплавів широкого розповсюдження отримав термоелектричний спосіб [1], застосування якого дозволило розв'язати такі виробничі зачіпки:

- визначення наявності шару без вуглецю, а також вимірювання глибини цього шару;
- вхідний вимірювальний контроль для здійснення сертифікації продукції, яка постачається до виробництва;
- вимірювання товщини шару, на якому здійснюється цементация сталі;
- вимірювальний контроль за якість під час термічної обробки виробів;
- здійснення сортування продукції за видами та марками сплавів і сталей.

Однієї з головною перевагою термоелектричного способу вимірювального контролю є те, що він може здійснюватися в реальному масштабі часу [2]. До переваг також можна віднести те, що спосіб має просту технічну реалізацію, автономність та невеликі геометричні розміри термоелектричних електронних пристроїв. Не має необхідності здійснювати складну підготовки зразків, що досліджуються, а розуміла технічна реалізація не вимагає застосовувати висококваліфікований персоналу для обслуговування цих пристроїв. Отже, в теперішній час суттєво підвищився інтерес до електронних пристроїв, які базуються термоелектричному способів неруйнівного вимірювального контролю дефектів у металах.

Явище термоелектрики було виявлено Зеєбеком ще у 1826 р [3]. Це явище базується на тому, що струм буде протікати в замкнутому колі, що має в своєму складі два різнорідних метали. Ці метали повинні бути під дією різних

температур. У теперішній час як ефект Зеебека застосовується розімкнене коло в режимі зчитування, що наведено на рис. 1.1. Падінні напруга є термоелектричною потужністю пари, значення якої визначається за формулою:

$$E = -S \cdot \Delta T, \quad (1.1)$$

де ΔT – градієнт температури; S – коефіцієнт Зеебека.

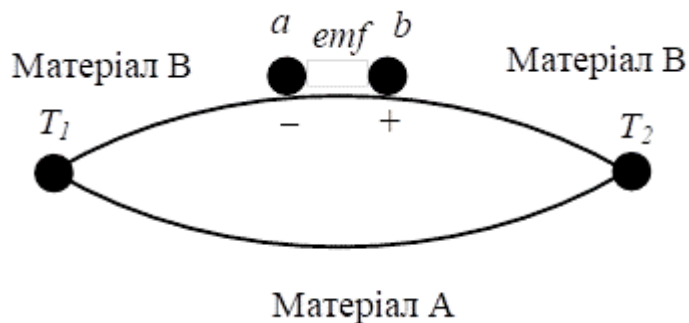


Рисунок 1.1 – Розімкнене коло, що відображає ефект Зеебека

Термоелектричні ефекти базуються на фундаментальній взаємодії між тепловими та електронними властивостями матеріалів. Термоелектричні ефекти зазвичай мають місце під час вимірювання електричних струму та напруги, які обумовлено тепловими градієнтами. Тепловий потік, який електрично індуковано, формує градієнт температури, який відрізняється з нагріванням Джоуля. Термоелектричні ефекти Зеебека та Пельтьє сумісно зі законами термодинаміки застосовуються для одержання всіх інших термоелектричних ефектів. Якщо для матеріалу, що проводить електричний струм, створити термічний градієнт, то здійснюється міграція зарядів за градієнтом від гарячого до холодного шару, це є ефект Зеебека. Під час розімкнутого кола здійснюється накопичення заряду в холодній області матеріалу, це призводить до виникнення різниці електричних потенціалів (див. рис. 1.5).

Ефект Зеебека описується термоелектричним полем, що локально створено, та може бути кількісно визначено за таким співвідношенням:

$$S = -\frac{\Delta V}{\Delta T}, \quad (1.2)$$

де S – коефіцієнт Зеебека; V – падіння напруги; ΔT – різниця температур між двома провідниками.

Під час нагрівання один з двох провідників має місце рух електронів від гарячого провіднику до холодного. Якщо ці провідники підключено до електричного кола, то утворюється постійний струм, який протікає через кола. Значення термо-е.р.с. є дуже малим та складає декілька мікрвольт на один Кельвін. Якщо величина різниці температури є достатньо високою то величина падіння напруги може становити декілька мілівольт.

На рис. 1.1 наведено два напівпровідника, які виготовлено з різних типів матеріалів А та В. Ці провідники послідовно підключено для одержання термоелектричного генератора. Якщо підключити вольтметр до виводів «а» та «б», то наведене схемотехнічна реалізація буде функціонувати як сенсор. У цій схемі елементи можна підключати послідовно, що дозволить підвищувати значення вихідної напруги, або паралельно, що дозволяє підвищити величину вихідного струму. Достатньо велика кількість термоелектричних пристроїв може застосовуватися для одержання електричної енергії, під час великого значення різниці температур, що має місце та підтримується на стиках.

Явище Зеебека пояснює роботу термопар, що застосовуються для вимірювання значення температури. Цей ефект застосовується під час термічного електричного охолодження, а також вимірювального контролю якості сплавів і металів. Найбільшого розповсюдження одержали комбінації металів для термопар як є залізо-константан, мідь-константан, алюмель-константан, хромель-константан та хромель-алюмель.

1.2 Аналіз схемних рішень для здійснення вимірювання термо-е.р.с.

Вимірювання значень термічної-е.р.с. здійснюється за різними методиками. Широко розповсюджені отримав інтегральний та диференціальний способи [4]. Схемну реалізації здійснення вимірювального контролю термо-е.р.с. під час застосування інтегрального способу наведено на рис. 1.2, де позначено: T_0 – опорне значення температури; T – величина температури робочого спаю; V_T – вимірювальне падіння напруги з виходів термопар.

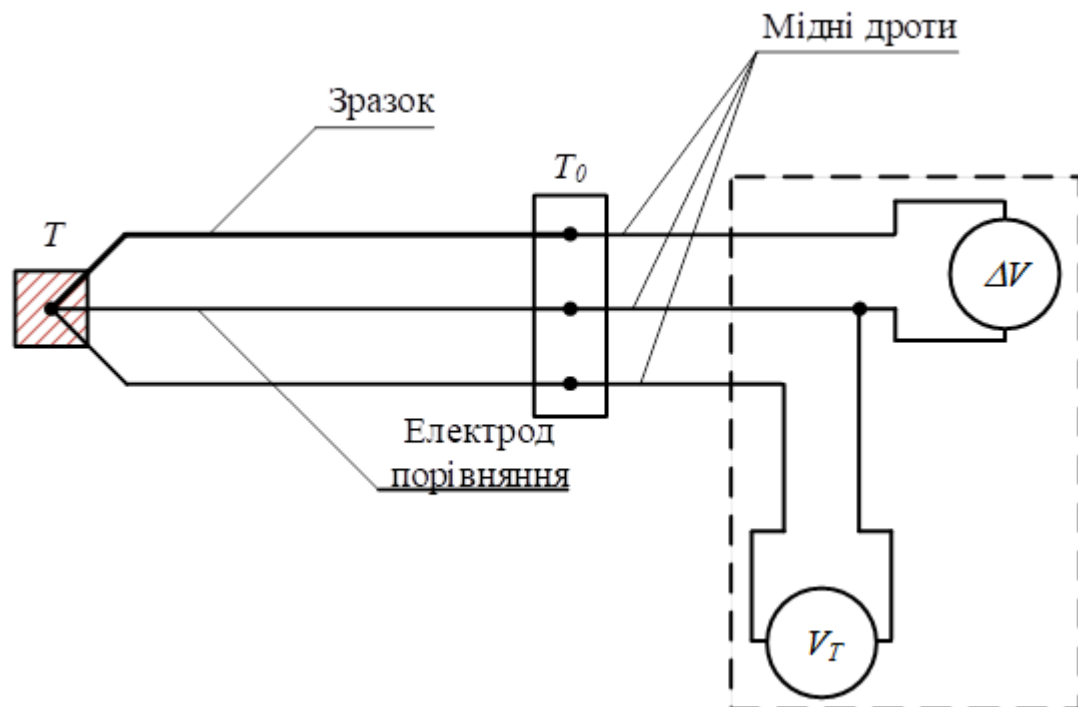


Рисунок 1.2 – Схемна реалізації інтегрального способу вимірювального контролю термо-е.р.с.

Схема має в своєму складі два різнорідних провідника. Один з провідників є випробуваним зразком, а інший провідник є еталоном, які підключено разом за допомогою вольтметром. Для здійснення вимірювання значення температури (T) контакту зразка, що досліджується, та електроду порівняння застосовується додатковий електрод, у якого відоме значення термо-е.р.с., що утворює спільно з еталоном термопару:

$$\Delta V = - \int_{T_0}^T (S_x - S_l) dT, \quad (1.3)$$

де T_0 – опорне значення температури; T – величина температури робочого спаю; $(S_x - S_l)$ – відносне значення термо-е.р.с. провідників.

Під час застосування цього способу виготовляються зразки як однорідні дроти, що є основним недоліком цього способу вимірювального контролю, тому що виготовлення зразків, які мають таку форму є дуже важкою задачею. Отже, цей спосіб вимірювального контролю величини термо-е.р.с. не одержав широкого застосування.

Вимірювальний контроль зразків, які мають невеликі геометричні розміри та довільну форму, а також тонкі плівки, здійснюється диференціальним способом [4], схемну реалізацію якого наведено на рис. 1.3. Значення різниці температур, яке має місце між двома точками зразку, вимірюється під час застосування двох термопар або інших сенсорів температури. Вимірювання значення термо-е.р.с. (ΔV) здійснюється між однойменними гілками цих самих термопар.

Нагрівач здійснює формування теплового потоку, що проходять через матеріал зразка, що досліджується, під час цього утворюється градієнт температури. Для здійснення вимірювання значення цього градієнта температур застосовуються дві термопари, які розташовано в різних точках на поверхні дослідженого зразка. Значення абсолютної термо-е.р.с. розраховується за такою формулою:

$$S_x = - \frac{\Delta T}{\Delta V} + S_l, \quad (1.4)$$

де ΔT – градієнт температури; ΔV – різниця потенціалів між зразком і еталомом; S_x та S_l – коефіцієнти термо-е.р.с. зразка та еталона.

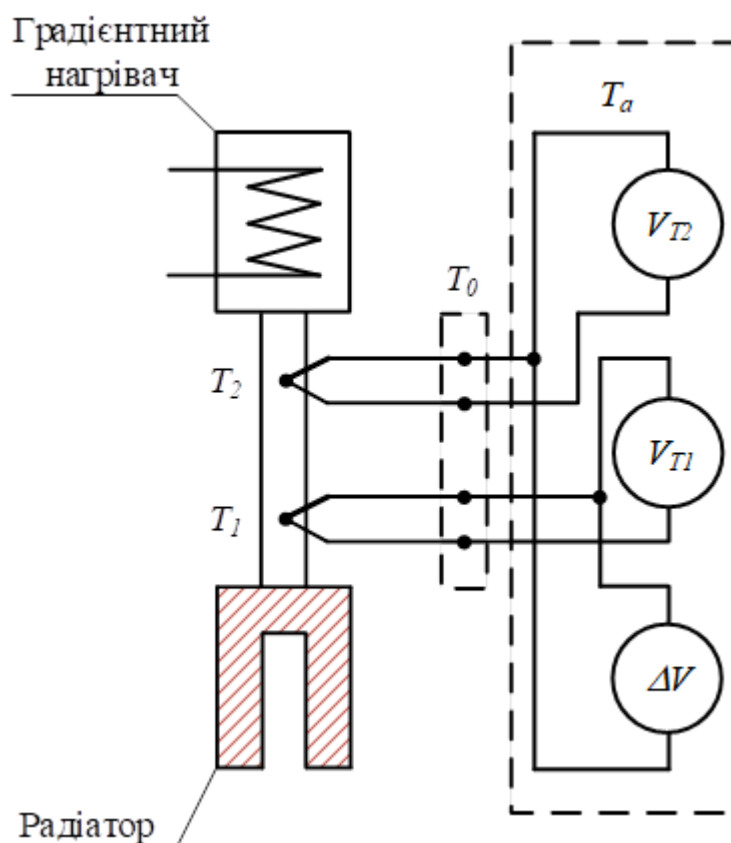


Рисунок 1.3 – Схемна реалізації диференційного способу вимірювального контролю термо-е.р.с.

1.3 Основні метрологічні вимоги для термоелектричних вимірювань

Значення е.р.с. залежить від типу матеріалів провідників, а також різниці температур між точками з'єднання цих провідників. Процес перетворення величини теплової енергії до електричну може бути звернений. Здійснення вимірювання термо-е.р.с. не може бути здійснено з вимірюванням температури, якщо величина струму, який протікає через термопару не є фіксованою. Під час пропускання струму змінюються температурні параметри переходів.

Значення температурного градієнту ΔT у металах є пропорційною величиною від градієнту щільності носіїв заряду, що рухаються, та пропорційно величині електричного градієнту потенціалу ΔV . Відношення величини електричного градієнта потенціалу ΔV до зміни температурного градієнту ΔT є коефіцієнтом Зеєбека $S = \Delta V / \Delta T$. Величина потенціалу термо-

е.р.с. однозначно корелює з основними типами носіїв заряду, незважаючи на напрям їх руху. Достатньо велика кількість електронних пристроїв, що виготовляються промисловістю, не задовольняють зазначеним умовам, вони мають достатньо високе значення методичної похибки вимірювання.

Під час точних вимірюваннях величини термо-е.р.с. необхідно забезпечити виконання таких умови:

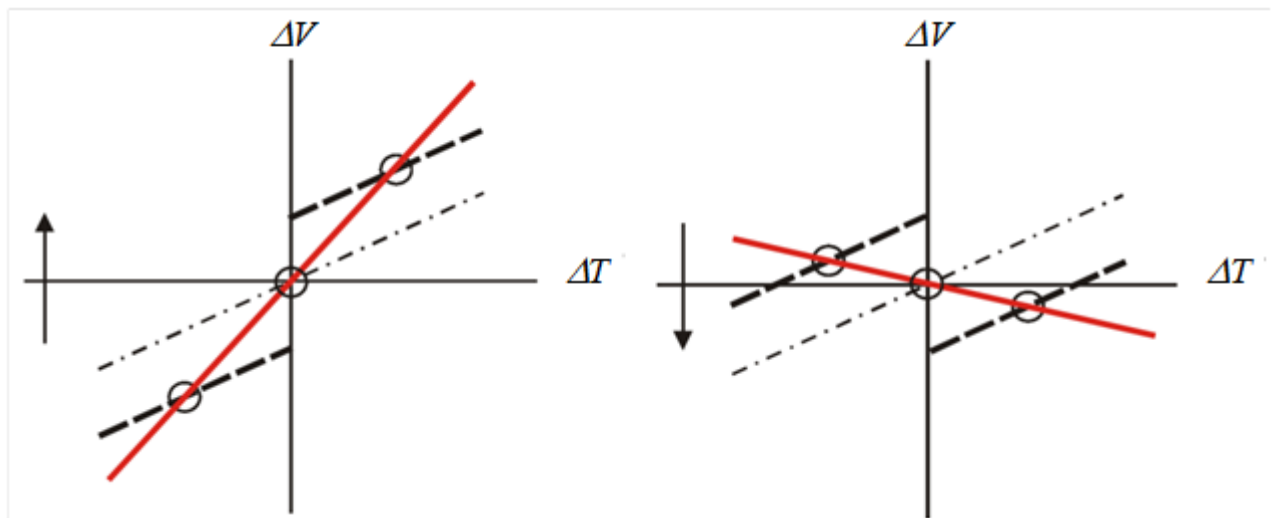
- вимірювання значень температури та потенціалів повинно здійснюватися в одній точці дослідного зразка;
- механічний контакт дослідного зразка з електродом є причиною виникнення різкої зміни температури між зразком і електродом;
- під час механічного притискання електрода до дослідного зразка має місце бар'єр Шотки;
- під час механічного з'єднання двох твердих матеріалів, що проводять електричний струм, виникає контактна різниця потенціалів, у тому числі під час з'єднання пайкою, значення та знак контактної різниці потенціалів обумовлено положенням рівня Фермі. Також мають місце інші поверхневі ефекти, що важко враховувати. Для здійснення вимірювання значення термо-е.р.с. з достатньо високою точністю необхідно зменшити впливу контактної різниці потенціалів.

– зміна значення коефіцієнту Зеебека S залежить від температури, отже й величина контактної різниці потенціалів ΔV також залежить від ΔT . Значення коефіцієнта Зеебека $S(T_0)$ необхідно визначати для $S(T \rightarrow T_0)$.

Значення коефіцієнта Зеебека, що пов'язано з величиною термо-е.р.с., $S = \Delta V / \Delta T$, та розраховується під час вимірювання термоелектричного потенціалу $V(T)$ під час дії двох різних значень температур. Передбачається, що функція $S(T)$ є лінійною [6], та не враховується можливий вплив на результат вимірювання контактної різниці потенціалів (див. рис. 1.4). Це призводить до того, що знак S в деяких випадках може бути протилежним [7].

На рис. 1.4 застосовуються такі позначення: кружечки – результати

вимірювання, а стрілками позначається контактна різниця потенціалів; жирна пунктирна лінії – вплив контактної різниці потенціалів; червона суцільна лінія – помилково визначено значення термо-е.р.с.; штрихпунктирна лінія – істинне значення, яке визначено без впливу величини контактної різниці потенціалів.



а) позитивна різниця потенціалів

б) негативна різниця потенціалів

Рисунок 1.4 – Вплив величини контактної різниці потенціалів на значення коефіцієнта Зеєбека

Якщо здійснювати вимірювання значення термо-е.р.с. у двох точках, то це не дозволить визначити нелінійний характер функції термо-е.р.с. від зміни температури (див. рис. 1.5). Це можна уникнути під час вибору невеликої зміни ΔT . Проте, може призвести до того, що зміна ΔV теж буде мати невелике значення, що співвідноситься до рівня шумів підсилювача, це може суттєво погіршувати точність вимірювань. На рис. 1.5 наведено такі позначення: кружечки – результати вимірювання; стрілки – величина контактної різниці потенціалів; жирна штрих-пунктирна лінія – істинне значення термо-е.р.с., що зсунута на величину ΔV ; червона суцільна лінія – значення термо-е.р.с. з похибкою; чорна штрих-пунктирна лінія – справжнє значення під час дії температури T_0 без впливу величини контактної різниці потенціалів.

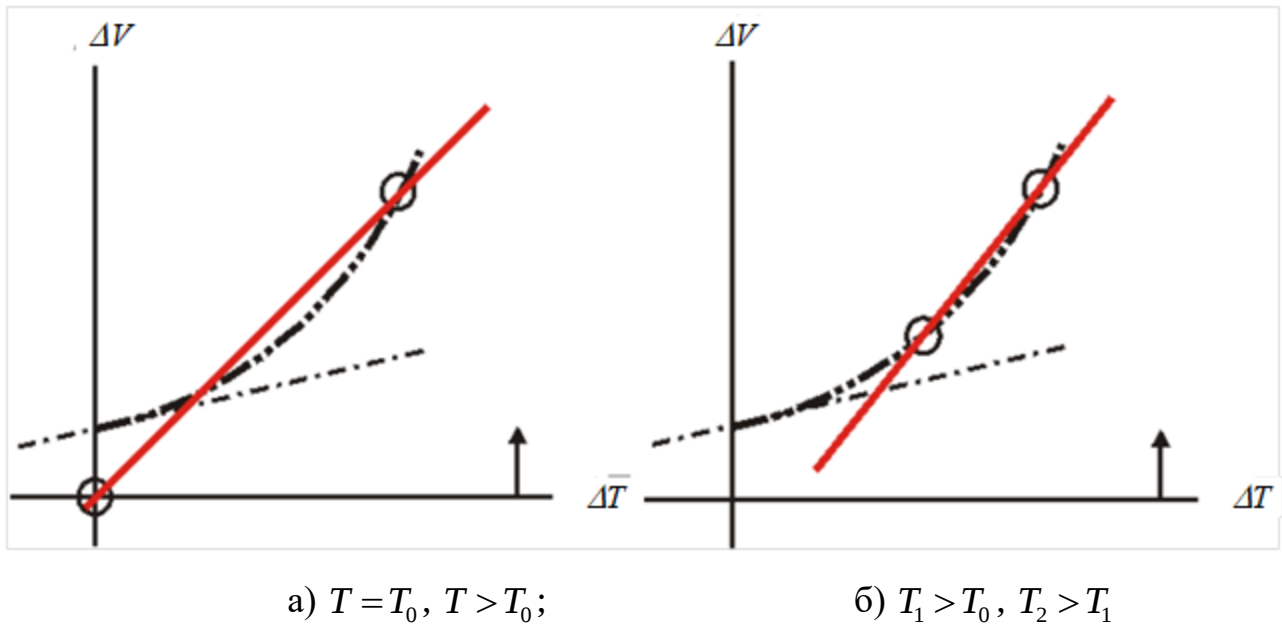


Рисунок 1.5 – Похибки під час здійснення вимірювання величин термо-е.р.с. у двох точках

З аналізу залежності, які наведено на рис. 1.5, можна зробити висновок, що вимірювання величини термо-е.р.с., які виконано за двома точками призводять до результатів вимірювання зі великим похибками. Значення коефіцієнта Зеєбека визначається під час побудови асимптоти $S(T_0) = \lim(\Delta V / \Delta T)$, що наведено на рис. 1.6, де позначено: стрілками – величина контактної різниці потенціалів; чорна штрих-пунктирна лінія – істинне значення термо-е.р.с.; червонв суцільнв лінія – асимптота до харакетрситики термо-е.р.с., яку проведено до точки T_0 .

1.4 Аналіз способів вимірювального контролю величини термо-е.р.с.

Більшість з способів вимірювального контролю термо-е.р.с. не в змозі забезпечити ідеальні умов вимірювання, тому в результатах вимірювання є суттєве значення похибки. Проте, у теперішній час два способу вимірювального контролю величини термо-е.р.с. (див. рис. 1.7, а та 1.7, б) [8], які забезпечують мінімальне значення похибки під час вимірювань.

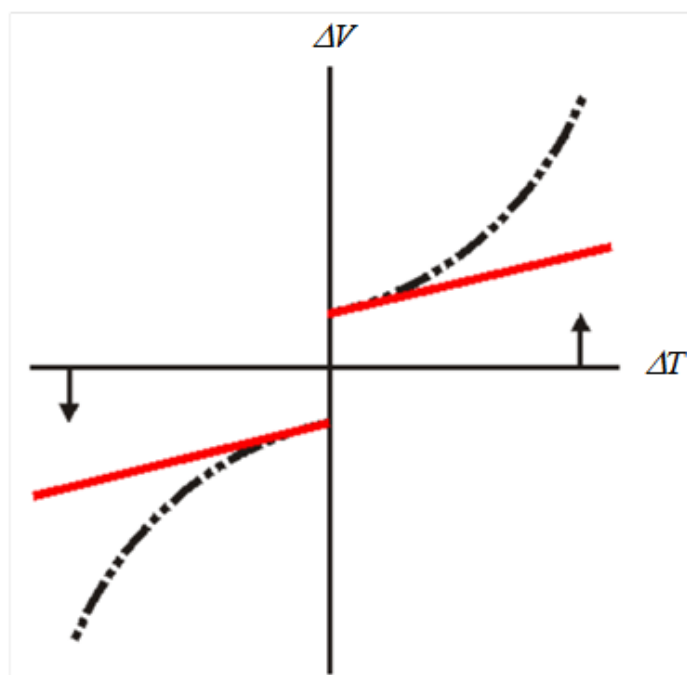
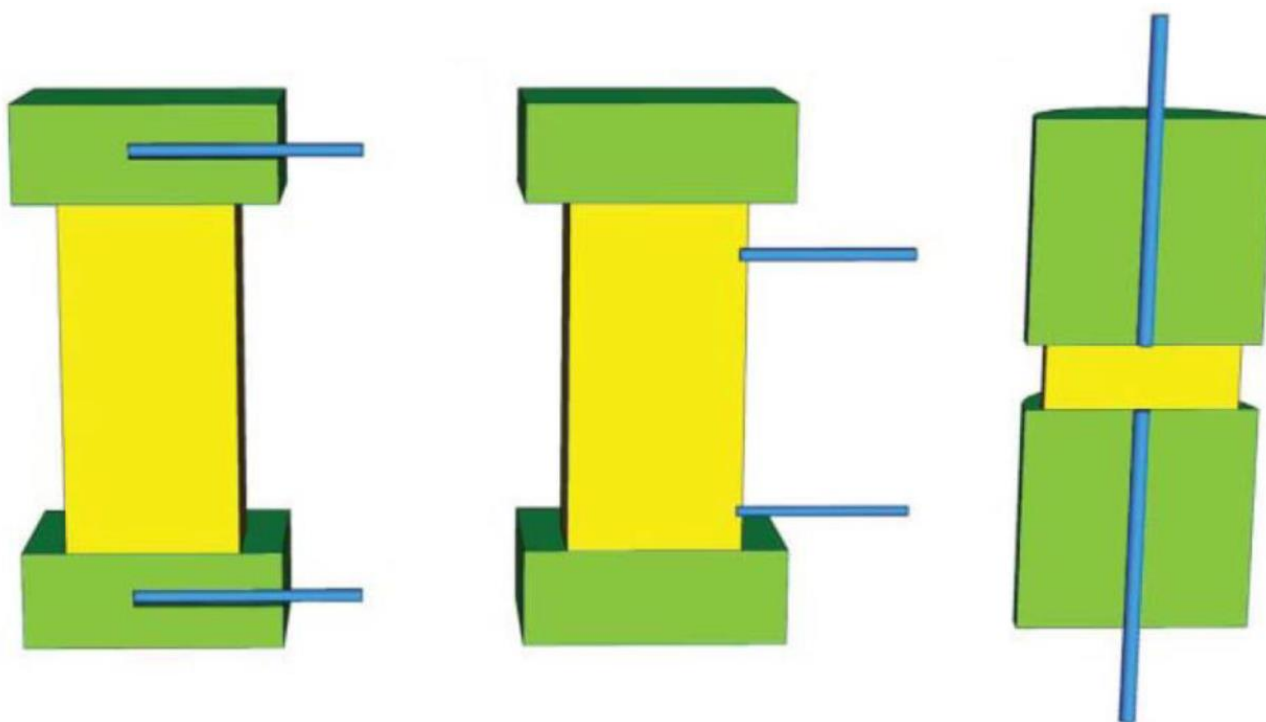


Рисунок 1.6 – Достовірне вимірювання величини термо-е.р.с.



а) двох точковий спосіб

б) несоосний чотирьох
точковий спосіб

в) одноосний чотирьох
точковий спосіб

Рисунок 1.7 – Основні способи вимірювального контролю значення
термо-е.р.с.:

Під час реалізації першого способу (див. рис. 1.7, а) об'єкт вимірювального контролю розташовується між двома металевими провідниками, що є гарячим та холодним електродами. Верхні та нижні блоки, які мають зелений колір, є нагрівачем та/або тепловідводом, а блок, що має жовтий колір – зразок, що досліджується, електрод позначено як сині вузькі стрижні. У цій конструкції не має можливості протікання хімічних реакцій між електродом і зразком, що досліджується, проте вона має такі недоліки, як виникнення електричного та термічного опору між нагрівачем, охолоджувачем та електродами, а також між зразком, що досліджується, та нагрівачем, що є причиною виникнення похибки вимірювання температури.

Більш кращі характеристики і параметри має конструкція, яку наведено на рис. 1.7,б. У цій конструкції підвищено кількість контактних точок від двох до чотирьох та здійснюється вимірювання електричного опору контакту.

Для здійснення вимірювання величини термо-е.р.с. матеріалів, які володіють низьким значенням електричного опору застосовується чотирьох точковий спосіб, що дозволяє зменшити величину похибка вимірювання (див. рис, 1.7, в). На відміну від рис. 1.7, а електроди розташовано уздовж бічної поверхні зразка, що досліджується, це дозволяє зменшити вплив теплового опору контактів між електродами та зразком. Проте, необхідно мати на увазі таке:

- під час дії високої різниці температури між електродом і зразком, що досліджується, завдяки теплопровідності електродів, зменшується значення температура цього зразка, це призводить до підвищення величини вимірювання температури та термо-е.р.с. (див. рис. 1.8, а);

- для забезпечення якісного теплового контакту між поверхнею зразка, що досліджується, та термопарами необхідно якісно прижати термопару до цього зразка. Проте, під час дії нагрівання до високої температури зразка має місце руйнування крихкого зразка та пластична деформації м'яких зразків, під час цього погіршується контакт у обох зазначених випадках. Під час слабого притискання має місце високе значення перехідного опір контакту зразок-

термопара;

– наявність градієнту температури, який має місце на поверхні зразка, призводить до того, що неможливо з високим ступенем достовірності здійснювати вимірювання значень його температури (див. рис. 1,8. а).

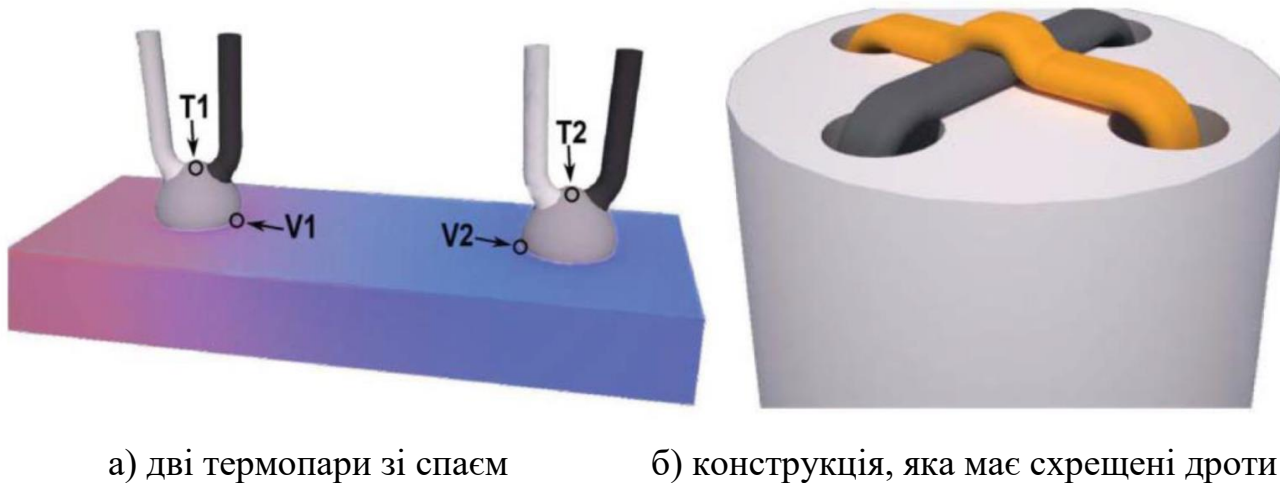


Рисунок 1.8 – Схема вимірювання величини термо-ер.с. за допомогою двох термопар

Для зменшення величини похибки вимірювання термо-е.р.с. і температури застосовується конструкція, яка має схрещені дроти на ізотермічній поверхні зразка (див. рис. 1.8, б). Проте, під час реалізації цієї конструкції виникає складність, яку обумовлено тим, що матеріали з якісними термоелектричними властивостями є крихкими. Ці матеріали пошкоджуються під час здійснення різання та свердління, що істотно обмежує сферу використання зазначеного способу. Також, під час реалізації цієї конструкції не можливо здійснювати вимірювання значення теплопровідності.

Зниження величини температури гарячого електрода завдяки передачі частини тепла від зразка, що досліджується, призведе до зміни значення термо-е.р.с. У точці контакту має місце градієнтний характер зміни температури.

1.5 Висновки

Під час аналізу характеристик і параметрів термоелектричного способу вимірювального контролю виявлено такі недоліки, як низьке значення повторюваності результатів вимірювання. Це пояснюється зміною температури зразка, що досліджується, та гарячого електрода завдяки теплообміну, а також неоднорідністю зразка за фазовим і хімічним складом, різною величиною шорсткості його поверхні. Для зменшення впливу цих факторів на результат вимірювання необхідно виконати дослідження їх ступеню впливу на результат вимірювального контролю та розробити технічні заходи, що дозволять зменшити вплив під час зміни цих факторів. Так, для зменшення величини впливу неоднорідності за фазовим і хімічним складом на результат вимірювального контролю використовуються електроди, що мають не точковий контакт, а площинний або лінійний. Також необхідно мати на увазі, що реально існує не площинний контакт, а контакт через багато точок так, як у електрода та зразка, що досліджується, є шорсткі поверхні.

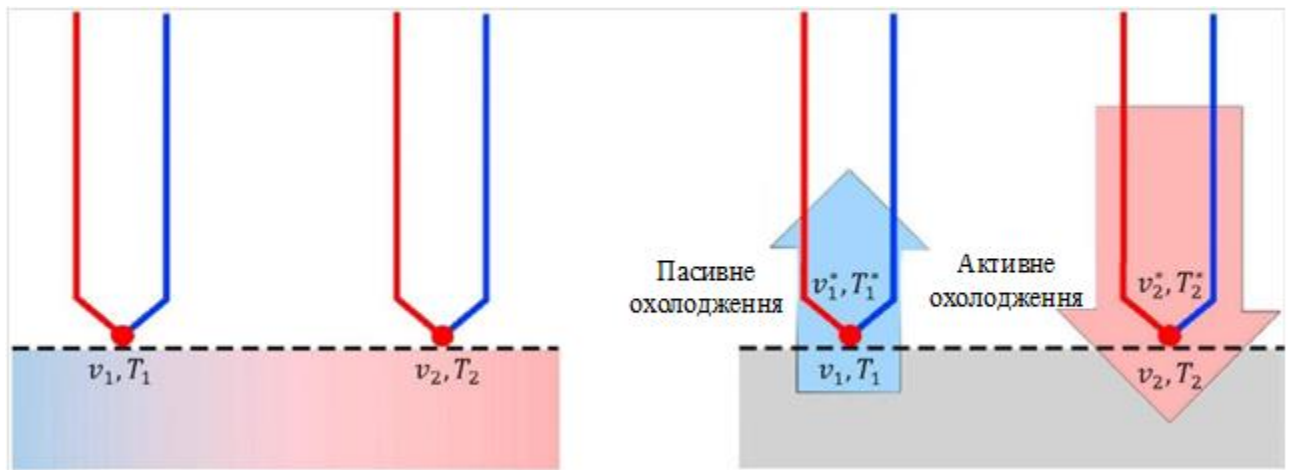
Під час контакту через багато точок здійснюється вимірювання значення еквівалентної термо-е.р.с. за поверхнею контакту, механізм визначення якої не досліджено. Це пояснюється тим, що у різних типах термопар є різні термоелектричні характеристики та параметри: значення внутрішнього опору, величина е.р.с., перехідний опір контактів, потужність. Один з підходів, який застосовується для дослідження цього механізму, є заміна гетерогенної поверхні на різні типи термопар, які підключено паралельно.

2 УДОСКОНАЛЕННЯ СПОСОБУ ВИМІРЮВАННЯ ЗНАЧЕННЯ ТЕРМО-Е.Р.С. ЗІ ЗАСТОСУВАННЯМ ЧОТИРЬОХ ТОЧОК

Зміна величини термо-е.р.с. завдяки тонкій еволюції матеріалів є несуттєвою, проте просторова зміна буде значною [9]. Для зменшення впливу невизначеності через просторові зміни здійснюють постійне встановлення сенсора для того, що вимірювання завжди виконувалися точно в одній точці, а результати повторних вимірювання можна порівнювати між собою. Постійна встановлення обладнання є суттєвою перевагою тому, що вимірювання можна здійснювати у вихідному місці, що значно підвищує величину частоти вимірювань. Стабільність й точність вимірювань термо-е.р.с. має суттєве та вирішальне значення. Особливої уваги потребує чутливість до стану поверхні зразка, що досліджується, яка не визначається під час промислового застосування та змінюється під час довготривалої експлуатації. Це дослідження спрямовано на зменшенні чутливості до стану поверхні зразка, що потребує довготривалого локального вимірювального контролю.

На рис. 2.1, а наведено схему вимірювання контактної термо-е.р.с., що здійснюється під час контролювання різниці температур та електричного потенціалу на двох електродах, що має місце під час контакту з поверхнею матеріалу, що досліджується. Електроди мають в своєму складі термопари, що застосовуються для вимірювального контролю температури, а також вимірювальні дроти, через які здійснюється вимірюється різниці потенціалів. Вимірювальні пристрої термо-е.р.с., які виготовляються промисловістю, застосовують дві точки вимірювання, де температурний градієнт утворюється завдяки застосуванню нагрівального елементу. Цей нагрівальний елемент вбудовано до одного електрода для отримання гарячого наконечника. Інший електрод, який є пасивним, залишається під час дії температури навколишнього середовища (див. рис. 2.1, б). Складності виникають, якщо значення падіння напруги або температура електродів не дорівнюють величині напруга на

поверхні зразка, що досліджується. Виникнення міжфазного контакту призводить до утворення різниці електричних потенціалів або температур між поверхнею зразка, що досліджується, (v_1, v_2, T_1, T_2) та вимірювальними електродами $(v_1^*, v_2^*, T_1^*, T_2^*)$. Під час розрахунку будуть мати місце помилкові значення термо-е.р.с.



а) зовнішнє нагрівання зразка, що досліджується

б) нагрівання зразка, що досліджується, через електрод з гарячим наконечником

Рисунок 2.1 – Схемна реалізація визначення величини термо-е.р.с. під час застосування двох термопар, які контактують з поверхнею зразка

Недосконалість міжфазних умов призводить до виникнення теплового та електричного опорів контакту. Наявність електричного контактного опору призведе до виникнення різниці потенціалів, за умови протікання струму через опір. Вимірювання значення електричного потенціалу здійснюється зі застосуванням диференційного підсилювача, який має високий імпеданс, зазвичай значення якого перевищує 10 МОм, то буде мати місце незначна величина струму. Отже, величина електричного контактного опору не матиме суттєвого впливу на показники точності вимірювального контролю. Наявність теплового контактного опору буде мати значення, якщо на межі розділу утворюється тепловий потік, що призводить до появи різниці температур.

Для гарячого електрода, що є джерелом тепла до об'єкту вимірювального контролю, величини цього теплового потоку є невід'ємною складовою конструкції. Тепловий потік, який є менш значним, буде мати місце завдяки теплопровідності термопари. Зазначений ефект має назву холодний дотик. Це пояснюється наявністю різниці температур, а саме похибка результату вимірювання температури призводить до виникнення похибки під час розрахунку значень термо-е.р.с. Також має місце паразитний додатковий термоелектричний потенціал, який обумовлено величиною різниці температур між матеріалом, що обумовлено виникненням власної термо-е.р.с. Отже, точність під час застосування двох точок вимірювання термо-е.р.с. обмежено значенням контактного теплового опору.

Величину впливу контактного теплового опору необхідно визначати під час при проектування електронних вимірювальних пристроїв, які мають невеликі вагові та геометричні розміри [10]. Під час зменшення величини контактного теплового опору знижується значення випадкової невизначеності, якщо застосовується вимірювання термо-е.р.с. у двох точках. Проте, під час аналізу термоелектричних матеріалів, які мають схильність до деградації, зменшення значення невизначеності потребує застосування більш ефективних способів. Необхідно зменшити значення температурного градієнту, який має місце між зразком і електродами, під час охолодження та нагрівання кожної зі сторін термоактивного електрода. Це необхідно для мінімізації величини теплового потоку через контакт [11]. Реалізація іншого способу базується на уникненні охолодження або нагрівання через контакти сенсорів, а введення температурного градієнта здійснюється під час нагрівання місць, які віддалено від вимірювальних електродів. Цей підхід є аналогічним, якщо здійснювати вимірювання опорів за допомогою чотирьох точок. Струм подається до віддалених місцях для зменшення величини похибки визначення контактного теплового опору. Результати вимірювання під час застосування двох-, трьох- і чотирьох точок вимірювання термо-е.р.с. визначає різницю чутливості до контактних теплових опорів.

Контактні вимірювання значення термо-е.р.с. здійснюються зі застосування пристроїв, як наведено на рис. 2.2, а. Дві термопари, що виконано як два окремих електродів, притискаються до поверхні зразка, що досліджується. Кожна з термопар має в своєму складі два окремих термоелемента, в яких коефіцієнти Зеєбека S_{TC1} , S_{TC2} .

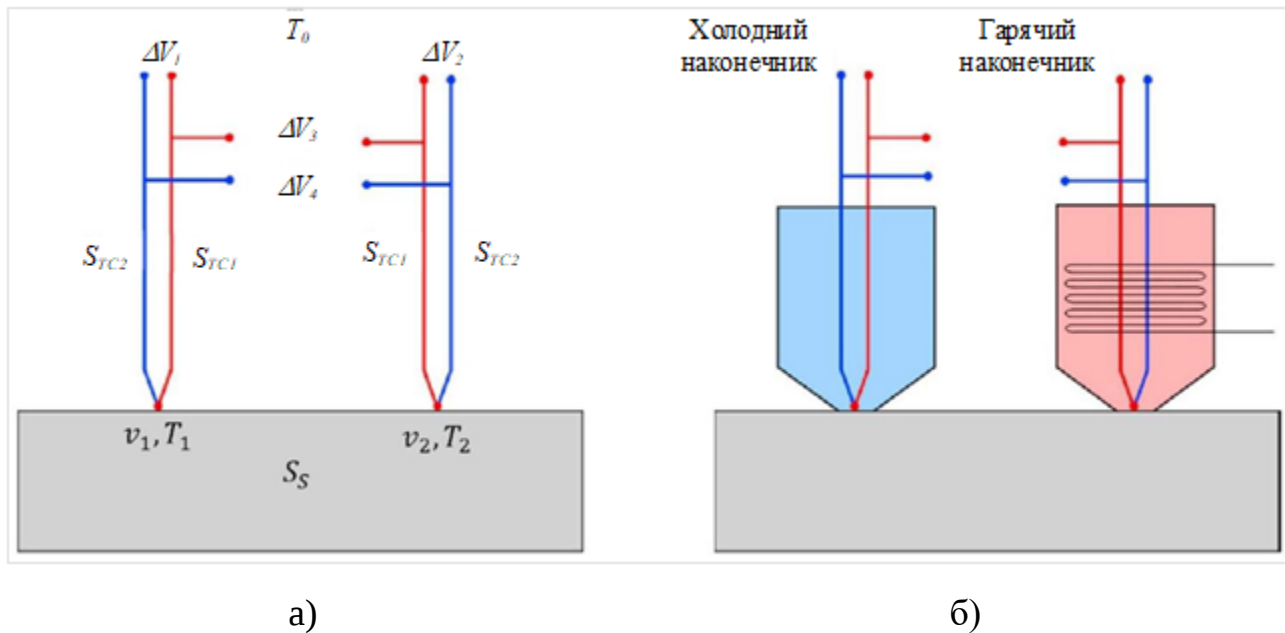


Рисунок 2.2 – Схема вимірювання контактної термо-е.р.с. (а) та схема вимірювання за двома точками (б) під час того, як нагрівальний елемент застосовується в одному з електродів для введення тепла

Різниця температур об'єкта досліджень $T_1 - T_2$ формує різницю термоелектричних потенціалів $v_1 - v_2$, значення якої залежить від величини коефіцієнта Зеєбека матеріалу, S_S :

$$v_2 - v_1 = \int_{T_1}^{T_2} S_S dT, \quad (2.1)$$

де S_{TC1} та S_{TC2} – коефіцієнти Зеєбека першого та другого термоелемента; v_1 та v_2 – термоелектричний потенціал першого та другого термоелемента; T_1 та

T_2 – температура першого та другого термоелемента.

Для здійснення розрахунку S_S виконують вимірювання чотири різниці потенціалів $\Delta v_1 - \Delta v_4$, що наведено на рис. 2.2, а. Різниця потенціалів Δv_3 та Δv_4 має в своєму складі термоелектричний потенціал від зміни коефіцієнта Зеебека та значення різниці температур об'єкта досліджень $T_2 - T_1$. Також величина термоелектричного потенціалу утворюється завдяки зміні коефіцієнту Зеебека та різниці між температурами кожного термоелементу:

$$\begin{aligned} v_3 &= \int_{T_0}^{T_1} S_{TC1} dT + \int_{T_1}^{T_2} S_S dT + \int_{T_2}^{T_0} S_{TC1} dT = \int_{T_1}^{T_2} (S_S - S_{TC1}) dT = \\ &= (\overline{S_S} - \overline{S_{TC1}}) \cdot (T_2 - T_1), \end{aligned} \quad (2.2)$$

Якщо величина термо-е.р.с. залишається незмінною в діапазоні зміни температур від T_1 та T_2 , то застосовується для розрахунку формула:

$$\overline{S} = \frac{\Delta v_3}{T_2 - T_1} + \overline{S_{TC1}}, \quad (2.3)$$

де $T_2 - T_1$ – різниця температур у об'єкті вимірювання; Δv_3 – значення термоелектричного потенціалу одного електрода термопари; $\overline{S_{TC1}}$ – величина коефіцієнта Зеебека першого термоелемента.

Лінійна функціональна залежність (2.3) є справедливою навіть, коли значення термо-е.р.с. змінюється в діапазоні температур від T_1 та T_2 лінійно, а середнє значення за діапазоном вибирається коефіцієнт Зеебека під час дії температури $(T_1 + T_2) / 2$.

Також здійснюється друге вимірювання різниці потенціалів Δv_4 для отримання формули, яка є аналогічною (2.4):

$$\overline{S_s} = \frac{\Delta v_4}{T_2 - T_1} + \overline{S_{TC2}}. \quad (2.4)$$

Це додаткове вимірювання є надмірною, його здійснюють для підвищення точності результатів вимірювання.

Для розрахунку S_s потрібно знати значення S_{TC1} , T_1 та T_2 . Значення термо-е.р.с. залежить від величини температури. Значення температури, яка застосовується для здійснення цієї компенсації дорівнює $(T_1 + T_2) / 2$. Оцінка значень T_1 і T_2 здійснюється зі застосуванням стандартизованої технології термопар. Значення вимірювальної напруги термопари ΔV перетворюється до температури у відповідності з формулою:

$$T = \sum_{m=0}^n c_m \cdot (\Delta V + V_0)^m, \quad (2.5)$$

де c_m – коефіцієнти, значення яких визначено в NIST ITS-90 [12]; V_0 – напруга, значення якої обумовлено холодним спаєм, це значення розраховується за результатами вимірювання внутрішньої температури холодного спаю T_0 . Величина S_s розраховується зі застосуванням формул (2.3) та (2.4).

У електронних пристроях промислового призначення для вимірювання величини термо-е.р.с. застосовується спосіб метод двох потоків. Під час реалізації цього способу температурний диференціал вводиться завдяки застосуванню нагрівального елемента, який знаходиться в складі один електроду. Це здійснюється для одержання гарячого електрода (див. рис. 2.2, б).

Різниця температур між об'єктом дослідження та гарячим електродом виникає через наявність теплового контактного опору, а також теплового потоку, що накладається. Термопара не може відображати істину температуру поверхні об'єкту дослідження, а також різниця температур за міжфазним матеріалом утворює паразитний термоелектричний потенціал. З рис. 2.1, б під

час дії різниці температур $T_1^* - T_2$ рівняння (2.2) перетворюється до вигляду:

$$\Delta V_3 = (\overline{S_s} - \overline{S_{TC1}}) \cdot (T_2 - T_1) + (\overline{S_i} - \overline{S_{TC1}}) \cdot \Delta T_i, \quad (2.6)$$

де S_i – коефіцієнт Зеєбека для міжфазного матеріалу.

Перша складова у формулі (2.6) є систематичною похибкою, яка має місце через наявність недосконалого контактного теплового опору та теплового потоку між об'єктом дослідження та гарячим електродом. Це є аналогією для вимірювання опору за двома точками, коли величина струму проходить через об'єкт вимірювання та електроди. Значення різниці потенціалів, що одержано, вимірюється під час застосування тих самих електродів, а різниця потенціалів між контактами та кабелем призводить до підвищення похибки вимірювання. Під час застосування вимірювання опору на базі чотирьох точок, де два електроди застосовуються тільки для введення струму, а інші два, які мають високий опір використовуються для вимірювання величини потенціалів. Отже, в чутливих електродах має місце незначене значення струму. Схемотехніку вимірювання електричного потенціалу наведено на рис. 2.3. Електричний струм I протікає через міжфазний контактний електричний опір, R_{e-int} , що утворює різницю потенціалів між електрода та поверхнею об'єкта дослідження:

$$v - v^* = I \cdot R_{e-int}, \quad (2.7)$$

де R_{e-int} – міжфазний контактний електричний опір; I – сила електричного опору в колі.

Вимірювання значення термоелектричного потенціалу здійснюється під час застосування вольтметра, який має високий вхідний імпеданс. Незначна величина струму протікає через контактні опори та буде мати місце незначна різниця потенціалів між потенціалом, що вимірюється на поверхні об'єкта дослідження, та потенціалом електрода.

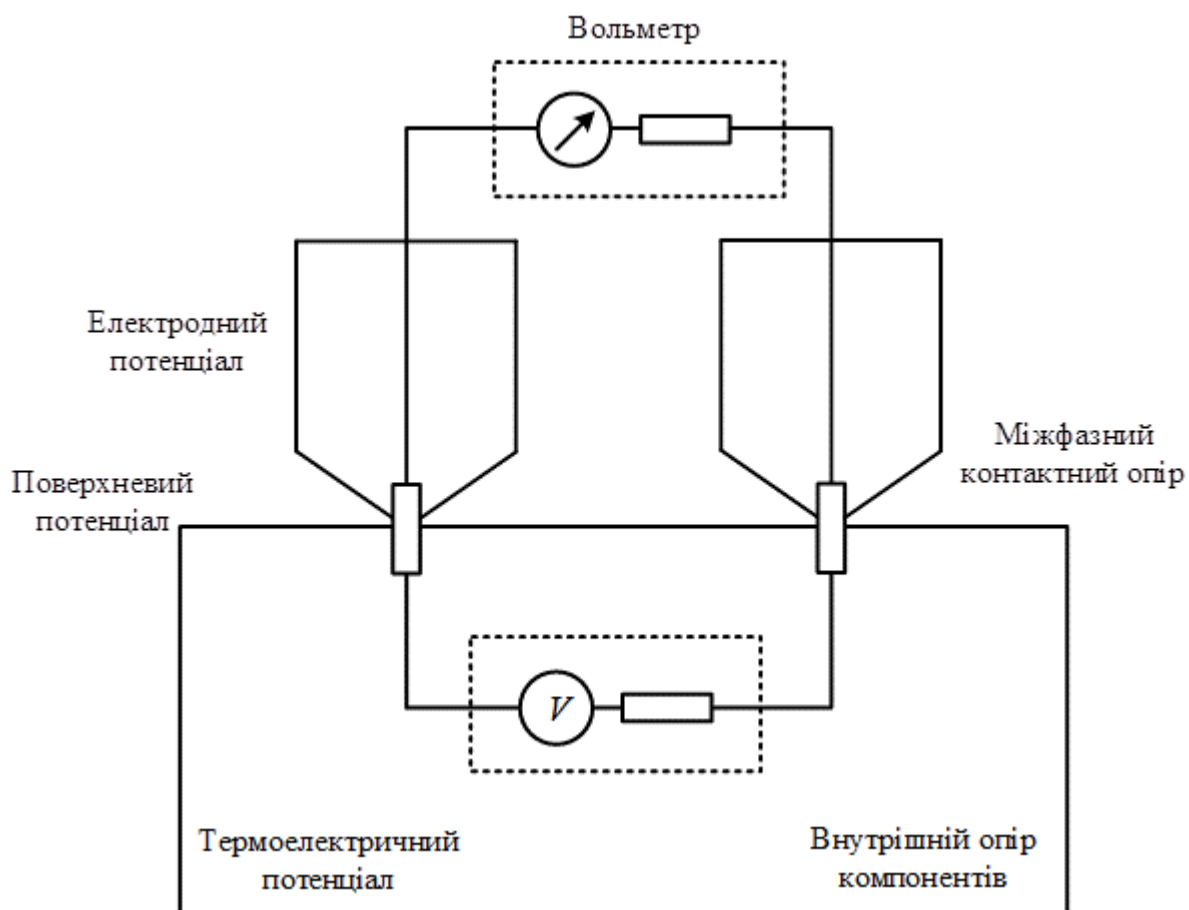


Рисунок 2.3 – Схемотехніку вимірювання електричного потенціалу між поверхнею об'єкта дослідження та електродом

Вимірювання значення електричного потенціалу може не залежати від величини контактних опорів. Найбільше застосовуються сплави та метали, які мають термо-е.р.с. у діапазоні $\pm 20 \text{ мкВ}/^\circ\text{C}$, де величина термоелектричного потенціалу буде складати декілька мікрівольтів.

3 РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ЕЛЕКТРОННОГО ПРИСТРОЮ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНОГО КОНТРОЛЮ ДЕФЕКТІВ У МЕТАЛАХ

3.1 Розробка структурної схеми електронного пристрою

Для дослідження термоелектричних властивостей сплавів і металів, необхідно розробити електронний пристрій. До складу цього пристрою входить: термокамера, за допомогою якої здійснюється підтримка температури в межах від 25 до 400°C з абсолютною похибкою не більше $\pm 1^\circ\text{C}$; вольтметр, який здійснює прецизійне вимірювання значення постійної напруги; магазин опорів, для виконання досліджень зміни постійної напруги термо-е.р.с. під час дії різних опорів навантаження; персональний комп'ютер пакетами прикладних програм, який здійснює керування роботою термокамери в реальному масштабі часу для визначення параметрів термокаметри, а також індикації значення напруга термо-е.р.с.

Електронний пристрій повинен дозволяти здійснювати дослідження залежності зміни напруги термо-е.р.с. від опору навантаження під час дії різних температур нагрівання електродів. Вимірювальна інформація щодо зміни термо-е.р.с., температури електрода та опорів навантаження передається до персонального комп'ютера, виводиться до екрану монітора у вигляді графіків та зберігаються до бази даних. За результатами вимірювань здійснюється розрахунок значення внутрішнього опору та потужність джерела термо-е.р.с.

Для оптимізації хімічного складу електродів, які застосовуються в складі електронних пристроїв термоелектричного вимірювального контролю, які застосовуються для неруйнівного контролю в реальному масштабі часу, необхідно виконати дослідження характеристики електродів: залежність зміни величини напруги термо-е.р.с. від опору навантаження та температури нагрівання електродів. Для здійснення такого типу досліджень застосовують термокамеру, магазин опорів, а також прецизійний вольтметр.

Під час здійснення попередніх досліджень виявлено, що застосування об'єктів, які мають велике значення постійної часу встановлення параметрів, що визначаються, вимагає суттєвих витрат часу, а саме встановлення необхідного значення температури в термокамері. Тому необхідно здійснити автоматизацію цього процесу та передати деякі функції персональному комп'ютеру. Також персональний комп'ютер може в один момент часу зчитувати інформацію від сенсорів та зберігати її до бази даних з подальшим аналізом.

Розроблений пристрій дозволяє здійснювати вимірювання величини термо-е.р.с. електродів під час дії різних значень температур та значень опорів навантаження. Змінювати величину опору навантаження потрібно для визначення значення внутрішнього опору джерела термо-е.р.с., а також ступеня впливу зміни величини контактного опору електродів з об'єктом, що досліджується, на результати вимірювання. Електронний пристрій має в своєму складі термокамера, прецизійний вольтметр, магазин опорів, блок керування та персональний комп'ютер. Пристрій дозволяє здійснювати дослідження зміни величини напруги термо-е.р.с. від значення температури нагрівання електродів і опору навантаження. Вимірювальні данні щодо величини термо-е.р.с., температури електрода та опорів навантаження передаються до персонального ПК, відображаються на моніторі у вигляді графіків і здійснюється їх збереження до бази даних. За результатами вимірювання здійснюється розрахунок значення внутрішнього опору та потужності джерела термо-е.р.с.

Структурну схему електронного пристрою термоелектричного контролю дефектів у металах наведено на рис. 3.1, який складається з:

- термокамери;
- блоку керування роботою термокамери;
- магазину опорів з номіналами 0.1 Ом; 1 Ом, 10 Ом, 100 Ом, 1 кОм, 10 кОм, 100 кОм та 1 МОм;
- прецизійного цифрового вольтметра;
- персонального комп'ютера.

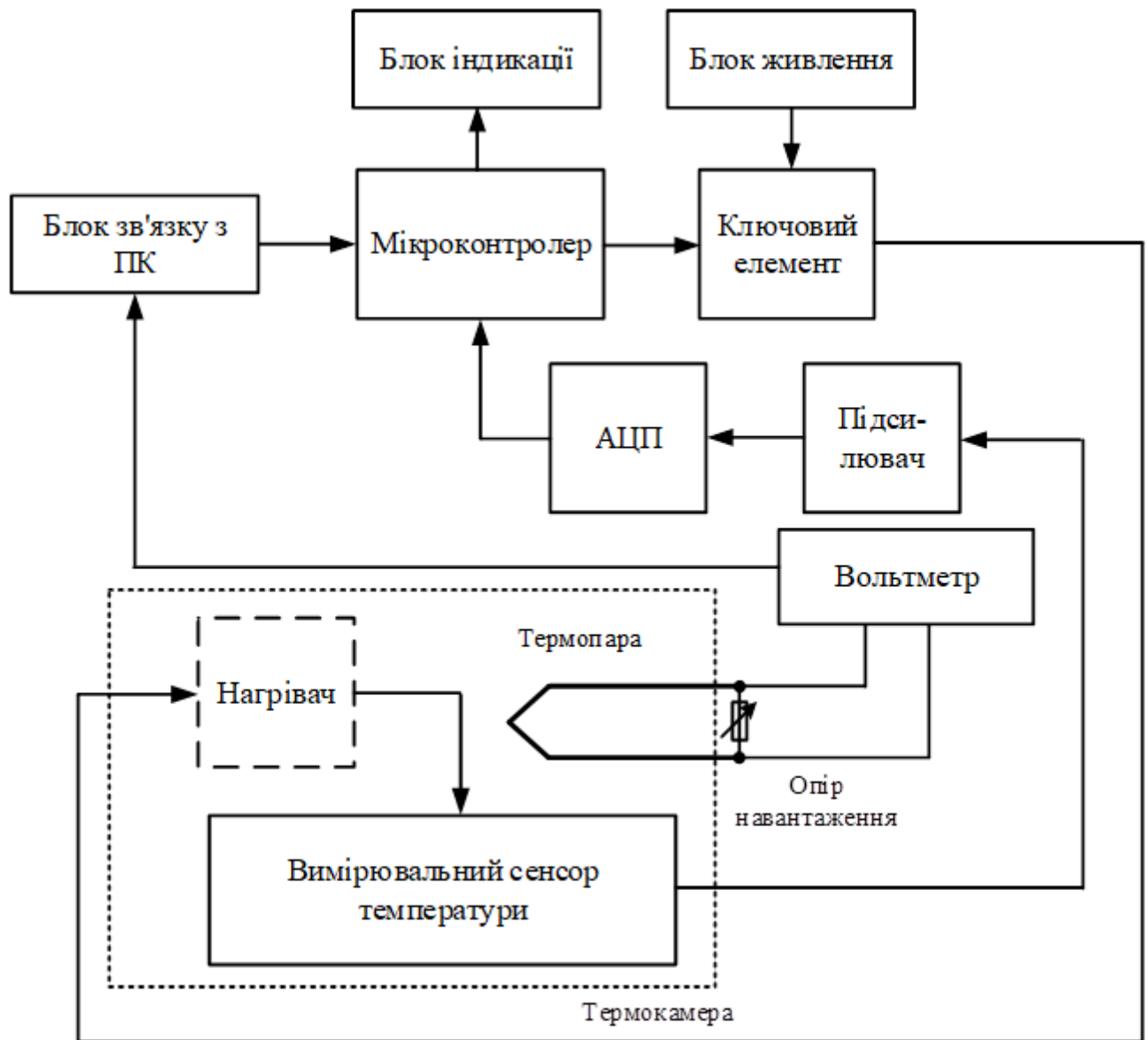


Рисунок 3.1 – Структурну схему електронного пристрою термоелектричного контролю дефектів у металах

Термо-е.р.с. електродів наведено на схемі як джерела напруги E , які мають внутрішній опір $R_{\text{вн}}$. Електрод розміщується до термокамери, де можна змінювати температуру в діапазоні від 25 до 400°C. Для забезпечення стабілізації температури холодного спаю, його розміщують до посудини, де є лід. Для отримання льоду застосовують дистильовану воду, що дозволяє одержати значення температуру холодного спаю 0°C. Джерело термо-е.р.с. утворює струм у колі, яке має в своєму складі джерело термо-е.р.с., внутрішній опір цього джерела та опір навантаження. Значення напруга на навантаженні

вимірюється мілівольтметром, який підключено до персонального комп'ютера.

Значення напруги вимірюється на навантаженні під час застосування мультиметра Rigol типу DM3068 [13]. Цей мультиметр виконує вимірювання термо-е.р.с. з високими показниками точності в реальному масштабі часу. До основної переваги цього мультиметра можна віднести те, що керування його роботою можна здійснювати від програмного забезпечення PC UltraSensor, яке встановлено до персонального комп'ютера. Ця програма виводить до робочого столу персонального комп'ютера передню панель мультиметра, який має цифровий дисплей. Програмне забезпечення PC UltraSensor можна інтегрувати до готового блоку керування термокамерою. Результати вимірювання зберігаються на диску персонального комп'ютера як файлу.

3.2 Розробка блоку керування тепловою камерою

Блок керування тепловою камерою має в своєму складі мікроконтролер, сенсор температури, ключового елемента, підсилювач та аналого-цифрового перетворювача (АЦП). Зчитування інформації з сенсора температури, який розміщено в термокамері, здійснюється з частотою 100 Гц. За результатами аналізу цієї інформації мікроконтролер формує вплив керування ключовий елемент. Мікроконтролер підключено до персонального комп'ютером, у якому записується послідовність дії під час здійснення експериментальних досліджень. Після формування сигналу нагрівання від персонального комп'ютера до пристрою керування термокамерою, мікроконтролер генерує сигнал керування до ключового елемента, який має максимальне значення тривалості. Початок цього сигналу синхронізовано з нулем живлячої напруги, а зміна тривалості здійснюється з частотою 100 Гц, у момент переходу напруги змінної мережі через нуль. Керування нагрівачем здійснюється ПІД-регулятором. Закон керування ПІД-регулятора є сумою, що входять до складу ПІД-регулятора компонент керування:

$$U_{\text{ПД}} = U_{\text{П}}(t) + U_{\text{І}}(t) + U_{\text{Д}}(t), \quad (3.1)$$

де $U_{\text{П}}(t)$ – пропорційна складова закону керування; $U_{\text{І}}(t)$ – інтегральна складова закону керування; $U_{\text{Д}}(t)$ – диференціальна складова закону керування.

Для визначення всіх складових ПД-регулятора застосовуються вимірювальні данні від сенсора температури. Під час встановлення необхідної температури має місце невелике перерегулювання зі затухаючим типом коливань, максимальна значення цього перерегулювання не більше 7 %. Зчитування інформаційних даних від вольтметра здійснюється під час досягнення величини перерегулювання 0,5%. Під час зчитування інформаційних даних від вольтметра здійснюється їх фіксація, якщо має місце досягнення потрібної температури з її збільшенням. Якщо має місце позитивне значення похідної температури у часу, а також під час її зменшення, тобто негативного значенні похідної температури у часі. Цей процес виконується багато разів, після цього розраховується середнє значення, що й записується до бази даних. Вимірювання значення термо-е.р.с. здійснюється для різних значень опорів навантаження. Мікроконтролер здійснює послідовне переключення герконового реле, під час цього підключаються різні опору навантаження. Інформаційні данні під час дії значення температури у термокамері 200°C наведено на рис. 3.2. Якщо встановлювати різні значення температури в термокамері, то можна одержати сімейство характеристик для джерела термо-е.р.с.

Зі застосуванням вимірювальних даних розраховується значення внутрішнього опору джерела термо-е.р.с.:

$$R_{\text{вн}} = R_{\text{н}} \cdot \frac{U_{\text{xx}} - U_{R_{\text{н}}}}{U_{R_{\text{н}}}}, \quad (3.2)$$

де U_{R_n} – величина падіння напруги на навантаженні, що визначено вольтметром; U_{xx} – падіння напруги під час дії ненавантаженого стану; R_n – опір навантаження.

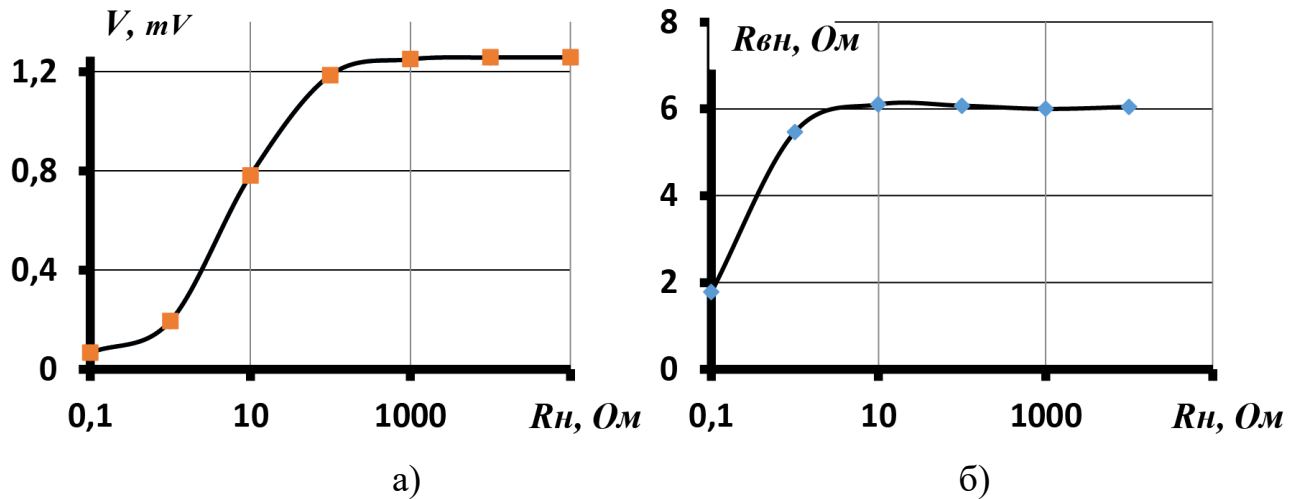


Рисунок 3.2 – Залежність зміни напруги на навантаженні (а) та внутрішнього опору джерела термо-е.р.с. (б) від зміни опору навантаження

Залежність зміни внутрішнього опору джерела термо-е.р.с. від опору навантаження представлено на рис. 3.2, б. Також виконується розрахунок залежності внутрішнього опору від величини струму:

$$R_{вн} = \frac{U_{xx} - U_{R_n}}{I} \quad (3.3)$$

та потужності, що розсіюється на навантаженні:

$$P = I^2 \cdot R_n = \left(\frac{U_{R_n}}{R_n} \right)^2 \cdot R_n = \frac{U_{R_n}^2}{R_n}, \quad (3.4)$$

де I – сила струму в колі.

Залежність зміни внутрішнього опору від сили струму представлено на рис. 3.3, а залежність зміни потужності, що розсіюється на навантаженні, від опору навантаження – на рис. 3.4.

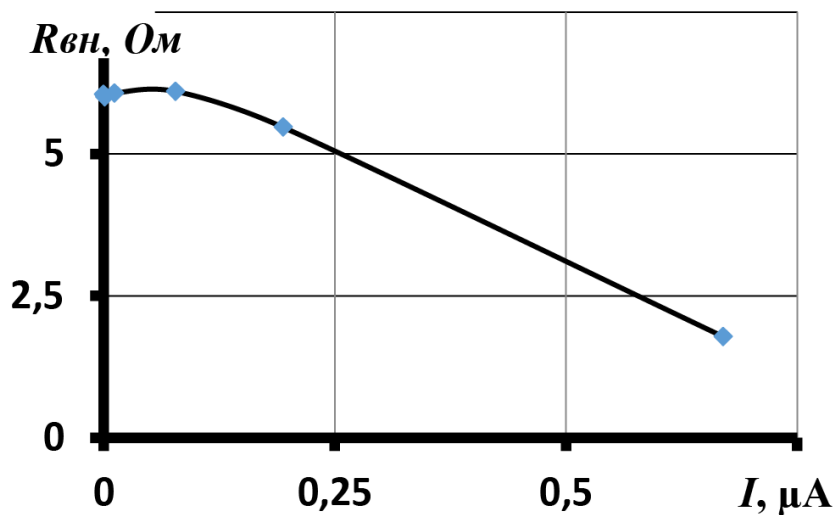


Рисунок 3.3 – Залежність зміни внутрішнього опору від сили струму

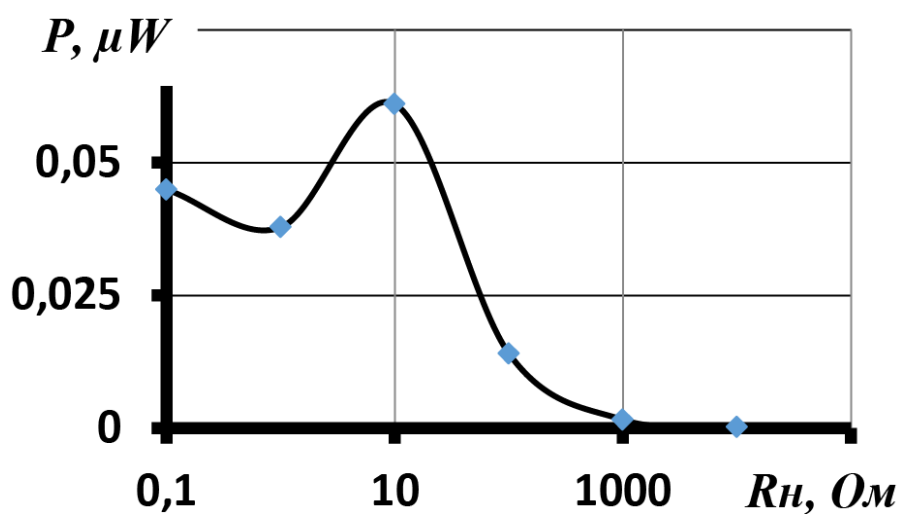


Рисунок 3.4 – Залежність зміни потужності, що розсіюється на навантаженні, від опору навантаження

Ці інформаційні данні можуть зберігатися до файлу на персональний комп'ютер у форматі * .txt, а також інтегровано до пакет прикладних програм, що працює з текстовим форматом даних – Microsoft Excel.

Багатопозиційний перемикач ($S_1 - S_8$) дозволяє здійснювати зміну величини опору навантаження в межах від 0,1 Ом до 1 МОм (див. рис.3.5). Перемикач виконано на базі герконового реле типу EDR101A0500, що керується сигналами від мікроконтролера.

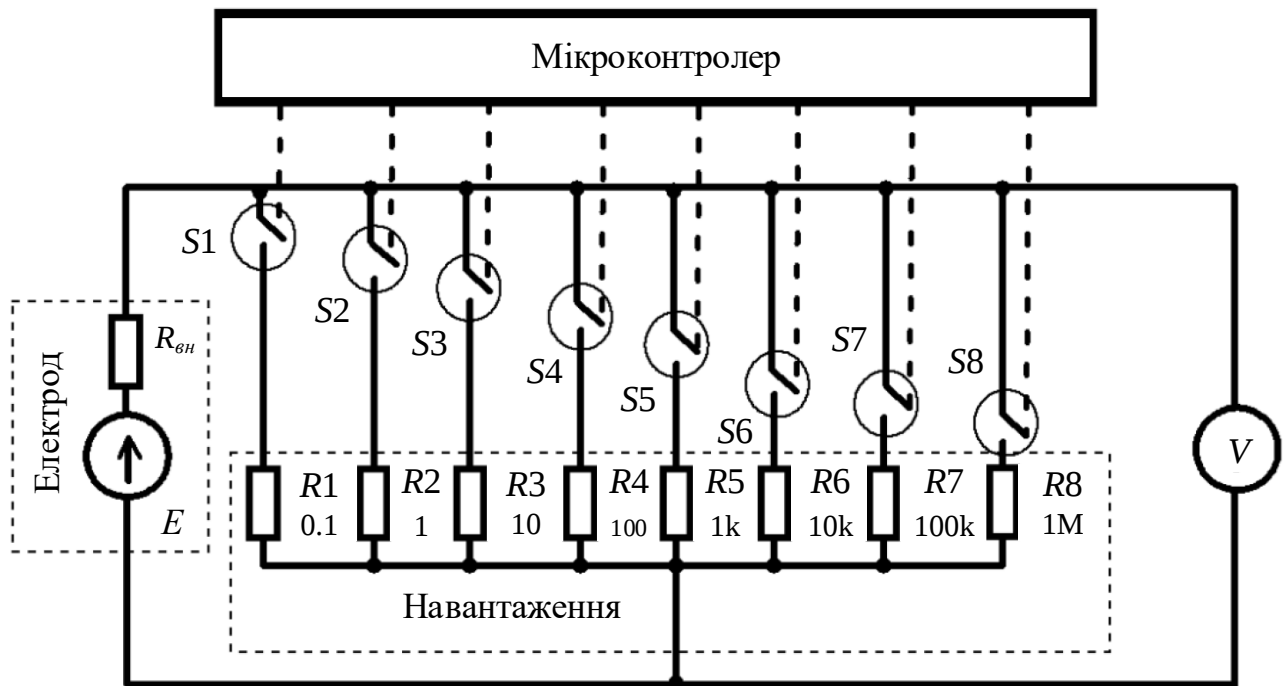


Рисунок 3.5 – Функціональна схема блоку вимірювання термо-е.р.с. електронного пристрою

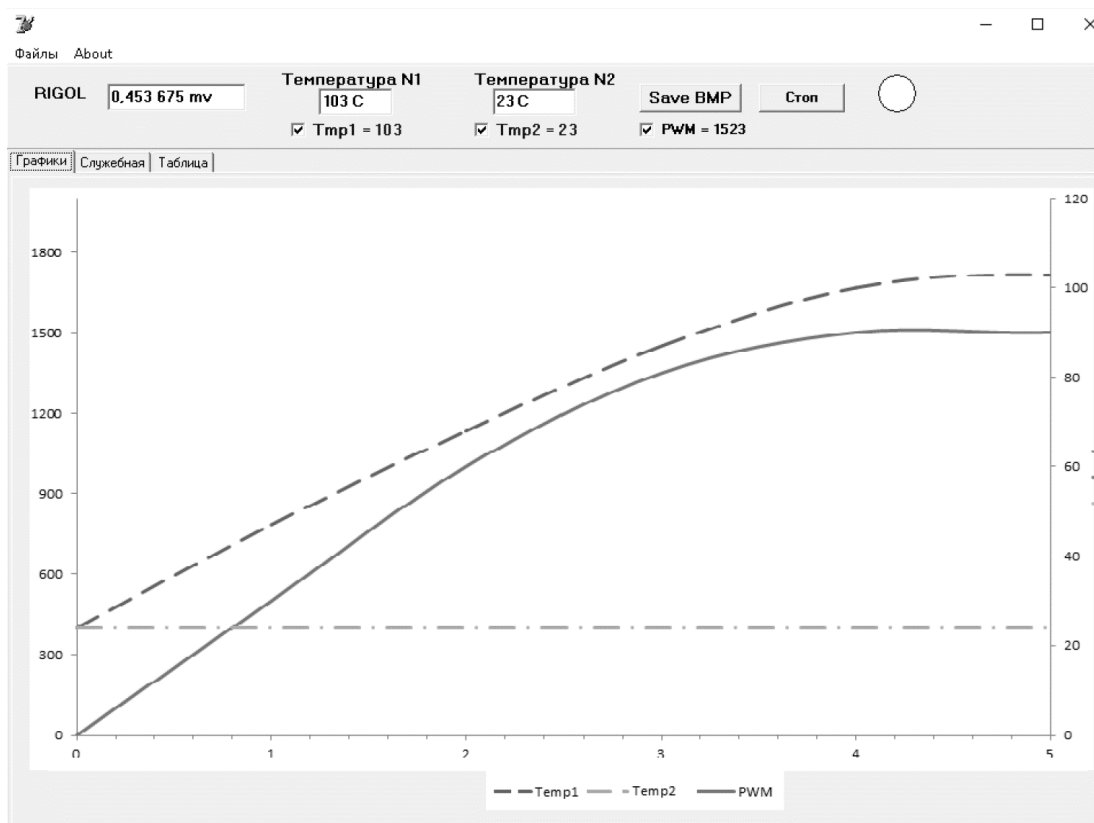
Герконовое реле типу EDR101A0500 має такі технічні параметри:

- максимальна значення робочої напруга, В 16;
- номінальне значення робоча напруга, В 5;
- величина напруги спрацьовування, В не більше 3,75;
- максимальна величина сили постійного струму, що комутується, А 1;
- максимальна значення постійної напруги, що комутується, В 100;
- час відпускання, мс 0,5.
- час спрацювання, мс 1;

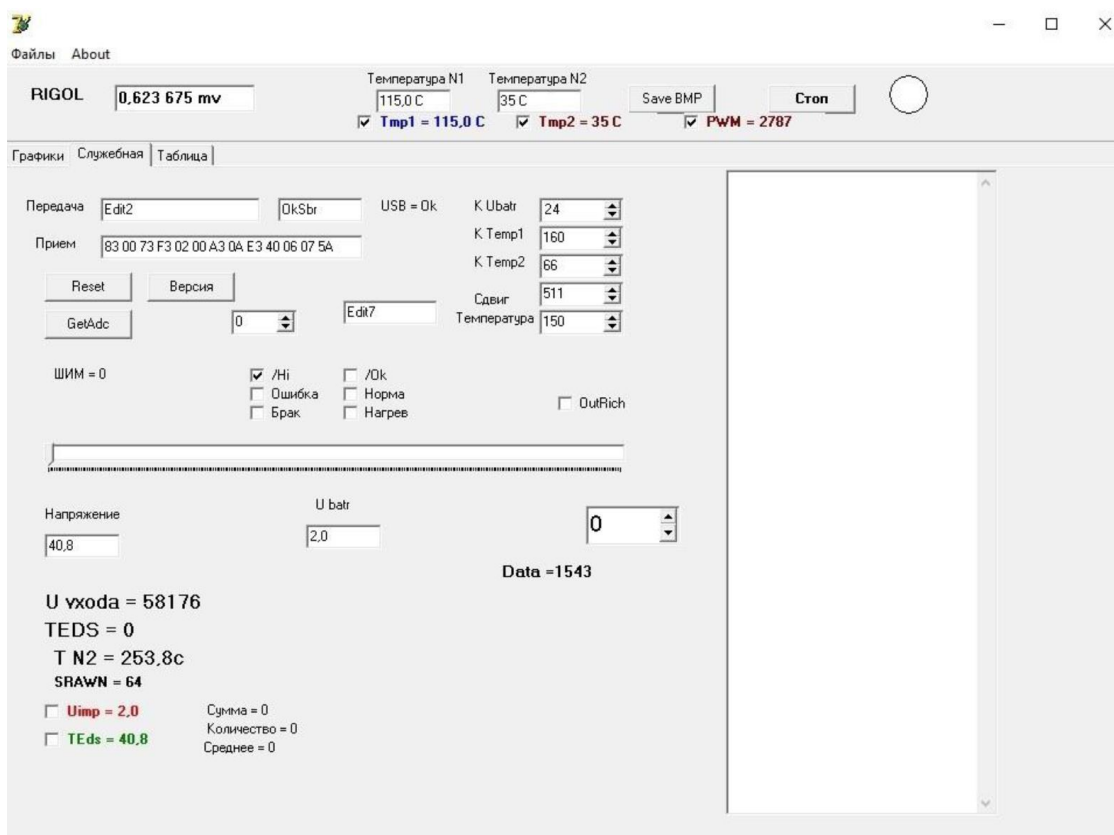
Інтерфейс керування термокамерою має декілька функціональних закладок. На рис. 3.6, а наведено зовнішній вигляд першої закладки, яка застосовується для здійснення візуального спостереження за процесом зміни температури в термокамері, а також температури навколишнього середовища та значень впливів керування, що формуються від мікроконтролера та передаються до ключового елементу. Ці залежності розташовано в центрі закладки. За віссю абсцис відкладається час в секундах, а за віссю ординат зліва - тривалість впливу керування в мікросекундах, а з права – значення температури, яке наводиться в градусах Цельсія.

Вікно «RIGOL» виводить поточне значення величини падіння напруги, яке вимірюється вольтметром на навантаженні. У вікні «Температура №1» виводиться поточне значення температури, яке має місце в термокамері в реальному масштаб часу. У вікні «Температура №2» виводиться поточне значення температури, яке вимірюється в навколишньому середовищі.

Програмне забезпечення повинно дозволяти включати та виключати відображення графіків. Для цього необхідно прибрати значок «v» на даних: «Температура №1», «Температура №2» або «PWM». Під час цього інформаційні данні до файлу будуть записуватися. На рис. 3.6, б наведено вкладка «Службова». Цю вкладку призначено для здійснення зв'язку між мікроконтролером та блоком керування термокамерою. Поле «Передача№» здійснює виведення код команди, які відправляються за послідовним інтерфейсом USB до мікроконтролеру блоку керування термокамерою. На полі «Прийом» здійснюється вивід відповіді, які формує мікроконтролер. Поле «OkSbr», що розміщено правіше від поля «Edit2№», формує дешифровані текстові повідомлення, які приймаються від інтерфейсу зв'язку USB від мікроконтролер керування. Ці команди інтерфейсу зв'язку розділяються на 3 типи: керуючі, інформаційні та текстові. Інформаційні команди застосовуються для передачі даних, що записуються до енергонезалежної пам'яті. Сукупність команд формує інтерфейс зв'язку.



а)



б)

Рисунок 3.6 – Интерфейс оператора: (а) візуалізація процесу контролю зміни температури в термокамері; (б) службові команди

Текстові команди застосовуються для передачі інформації, а також з мінімальною подальшою обробкою. Команди керування використовуються для передачі кодів керування до виконавчих пристроїв. Коефіцієнт «K Ubatr» застосовується для здійснення калібрування електронного блоку пристрою, який вимірює значення напруги живлення термокамери. Коефіцієнт «K Temp1» застосовується для здійснення калібрування блоку пристрою, що вимірює значення температуру в термокамері, що позначено синім кольором на рис. 3.6, а. Коефіцієнт «K Temp2» застосовується для здійснення калібрування блоку пристрою, що вимірює значення температури навколишнього середовища, який позначено коричневим кольором на рис. 3.6, а. Вікно «Температура» застосовується для завдання значення температури термостабілізації в термокамері. Вкладка «Службова» застосовується для формування окремих команд інтерфейсу зв'язку.

3.3 Розробка електронного пристрою термоелектричного контролю дефектів у металах

Для вимірювального контролю дефектів у металах розроблено електронний пристрій, в якому використовується диференційний спосіб з оригінальним сенсором, що може забезпечити однаковий режим температури в точках контакту для еталона та зразка, що досліджується. Функціональну схему диференційного сенсору для вимірювального контролю величини термо-е.р.с. наведено на рис. 3.7. Гарячий електрод 2, нагрівається до температури T_2 за допомогою нагрівача 3, який контактує як з еталом E , так зі зразком X , що досліджується. Під час однакового хімічного складу, а також структури еталону та зразка, що досліджується, то величина термо-е.р.с. контактів еталон – гарячий електрод та зразок, що досліджується, – гарячий електрод будуть дорівнювати за абсолютною величини та мати протилежні знаки. У цьому випадку еквівалентна величина термо-е.р.с. буде дорівнює нулю [14].

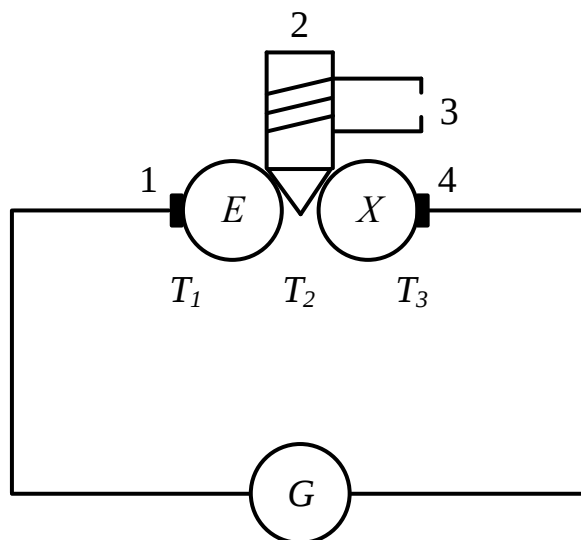


Рисунок 3.7 – Функціональна схема диференційного сенсору для вимірювального контролю величини термо-е.р.с

Під час різного хімічного складу або структури поверхні еталона та зразка, що досліджується значення термо-е.р.с. контактів еталон – гарячий електрод та зразок, що досліджується, – гарячий електрод не будуть однаковими. Сумарне значення термо-е.р.с. не буде дорівнюватиме нулю, а у вимірювальному колі виникне струм. Значення термо-е.р.с. не залежить від розмірів зразка, що досліджується. Фотографію зовнішнього вигляду електронного пристрою наведено на рис. 3.8.

На передній панелі цього електронного пристрою розміщено кнопки керування, індикатори режиму роботи електронного пристрою та цифровий дисплей для відображення вимірювальних значень термо-е.р.с. За допомогою кнопки «Mode» вибирається один з режимів роботи електронного пристрою: «Calibration», «Measure», «Threshold» або «Temperature». Вибраний режим показує індикатори, які розташовано над кнопкою «Mode». У режимі «Measure» за допомогою кнопок «+» або «-» встановлюється необхідне значення чутливості електронного пристрою. У режимі «1» коефіцієнт підсилення вимірювального каналу пристрою дорівнює 1, а в режимі «2» – 2, в режимі «3» його значення дорівнює 4. Для здійснення запам'ятовування значення цього коефіцієнту підсилення одночасно натискаються кнопки «Mode» та «Enter». У

режимі «Temperature» здійснюється відображення поточного значення температури, що вимірює сенсор. У режимі «Calibration» здійснюється калібрування електронного пристрою. У режимі «Threshold» виконується зміна величини порогового значення, під час дії якого зразок, що досліджується, вважається бракованим виводиться повідомлення на дисплей «No accepted». Індикація роботи електронного пристрою виконується індикатором «Ready for operation».



Рисунок 3.8 – Фотографія зовнішнього вигляду електронного пристрою

Під час здійснення вимірювального контролю зразку, що досліджується, утворюється хороший тепловий та електричний контакт гарячого електрода зі

зразком. Під час цього має місце зменшення температури гарячого електрода завдяки теплопередачі. Зміна величини температури призводить до зміни значення термо-е.р.с.:

$$\Delta E = \frac{\pi^2 \cdot k_B^2 \cdot \Delta T}{3 \cdot e} \cdot \left(\frac{1}{N_d} \cdot \frac{\partial N_d}{\partial \varepsilon} - \frac{1}{F} \cdot \frac{\partial F}{\partial E} \right)_{\varepsilon = \varepsilon_F}, \quad (3.5)$$

де T – температура в Кельвінах; k_B – постійна Больцмана; ε – енергія електрона; e – заряд електрона, F – площа поверхні Фермі; E – енергія Фермі; N_d – щільність електронних станів у d -зоні.

Завдяки використанню диференційного способу вимірювального контролю підвищується достовірність результатів вимірювання, під час цьому результуюче значення термо-е.р.с. є різниця двох значень термо-е.р.с.:

$$\Delta E_1 - \Delta E_2 = \frac{\pi^2 \cdot k_B^2 \cdot \Delta T}{3 \cdot e} \cdot \left[\left(\frac{1}{N_d^1} \cdot \frac{\partial N_d^1}{\partial \varepsilon^1} - \frac{1}{F^1} \cdot \frac{\partial F^1}{\partial E} \right)_{\varepsilon^1 = \varepsilon_F^1} - \left(\frac{1}{N_d^2} \cdot \frac{\partial N_d^2}{\partial \varepsilon^2} - \frac{1}{F^2} \cdot \frac{\partial F^2}{\partial E} \right)_{\varepsilon^2 = \varepsilon_F^2} \right], \quad (3.6)$$

де ΔE_1 – зміна величини термо-е.р.с. перший гарячий електрод – зразок, що досліджується; ΔE_2 – зміна величини термо-е.р.с. другий гарячий електрод – еталон.

Урівноваження значень температури двох гарячих електродів виконується загальним блоком температурного регулювання сенсора, яким має в своєму складі два гарячих електрода.

Під час впливу перехідного опору контакту на результат вимірювального контролю застосовується фіксоване зусилля з притискання електродів до зразка, що досліджується. Для переносних електронних пристроїв цей спосіб не підходить так, як пристрій має невеликі габаритні розміри. Для підвищення

точності вимірювального контролю величини термо-е.р.с. в електронному пристрої застосовується контроль електричного контакту гарячих електродів зі засобом, що досліджується. Вимірювальний контроль значення сумарного перехідного опору контактів R_k здійснюється за допомогою блоку електронного пристрою, структурну схему блоку наведено на рис. 3.9.

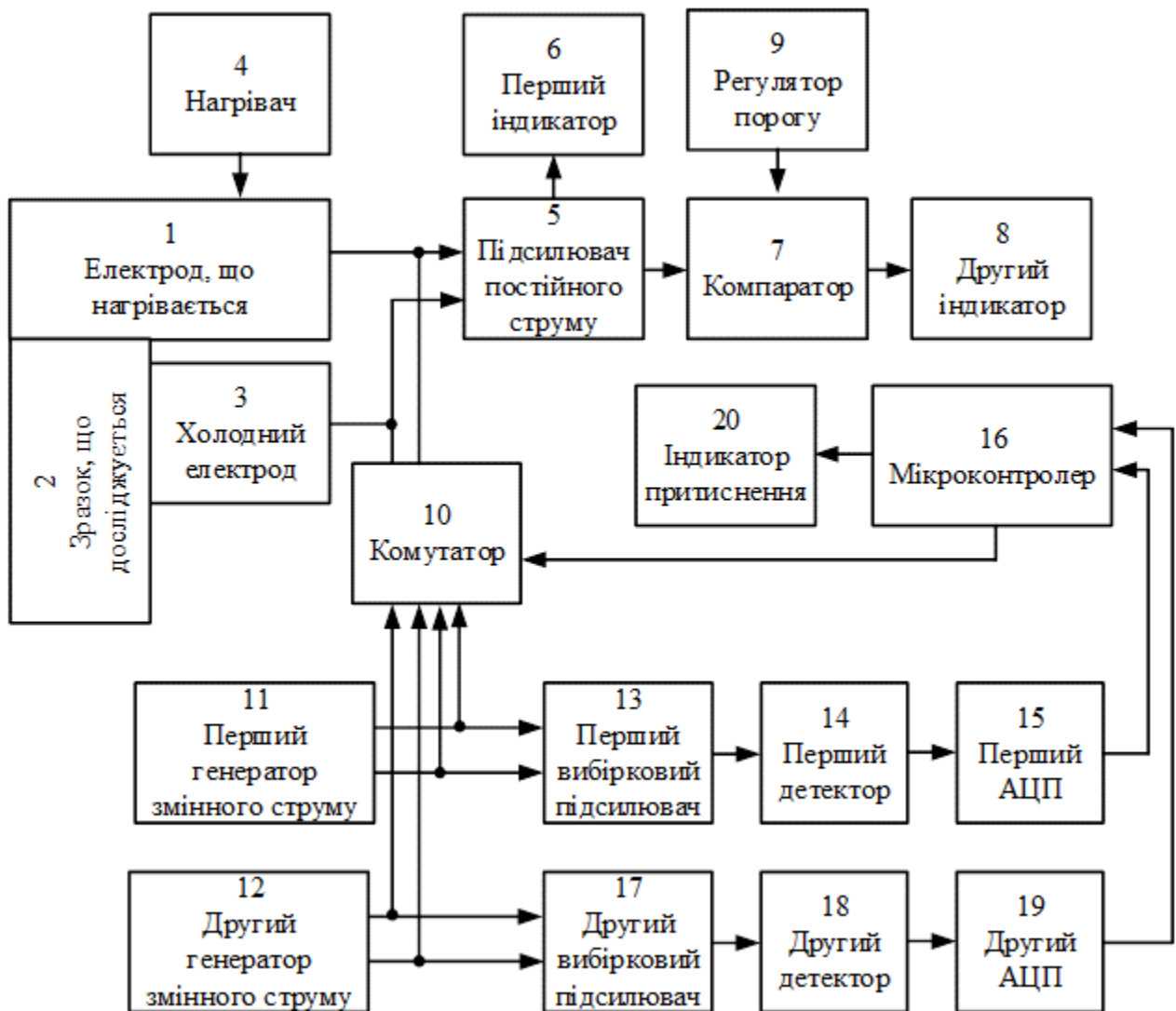


Рисунок 3.9 – Структурна схема блоку електронного пристрою, який здійснює вимірювальний контроль перехідного опору контактів

Вимірювальний контроль значення контактного опору здійснюється непрямым способом під час застосування змінного струму, що можна визначити зі загальної величини напруги на контактній опорі. Для створення струму, який має постійне значення амплітуди I_m , застосовується генератор

гармонійного струму. Значення вихідного струм цього генератора залежить від зміни опору навантаження. Під час протікання струму утворюється таке падіння напруги на сумарному опорі контактів R_k :

$$U_k = I_m \cdot R_k, \quad (3.7)$$

де I_m – величини струму, який протікає через контактний опір; R_k – сумарне значення опору контактів.

Для підвищення надійності вимірювання величини контактного опору в електронному пристрої застосовується два генератора струму, які діють на різних частотах. Це підвищує надійність вимірювального контролю опору контактів під час дослідження. Обидва генератори під'єднано до комутатора, для здійснення розподілу імпульсів. Кожен з генератор підключається до свого компаратору, який ідентифікує наявність контакту, за порогом спрацьовування. Також генератори під'єднано до відповідних підсилювачів змінного струму та аналого-цифрового перетворювачів, для здійснення детектування сигналів.

Для виділення величини напруги U_k використовується смуговий фільтр, вихідна напруга якого передається до підсилювача, потім до випрямляча та АЦП. Вихідний двійковий еквівалент коду АЦП застосовується мікроконтролером для розрахунку сумарного значення опору контактів:

$$R_k = \frac{U_k}{I_m}. \quad (3.8)$$

Програмне забезпечення здійснює керування електронним пристроєм. Воно призначено для введення інформаційних даних до персонального комп'ютера та виведення до монітору графіків. На рис. 3.10 наведено робота програми під час вимірювального контролю падіння напруги диференційної термо-е.р.с. сталей типу 40Х та 35ХГСА. Інтерфейс має дві вкладки: «Графіки» та «Службова».

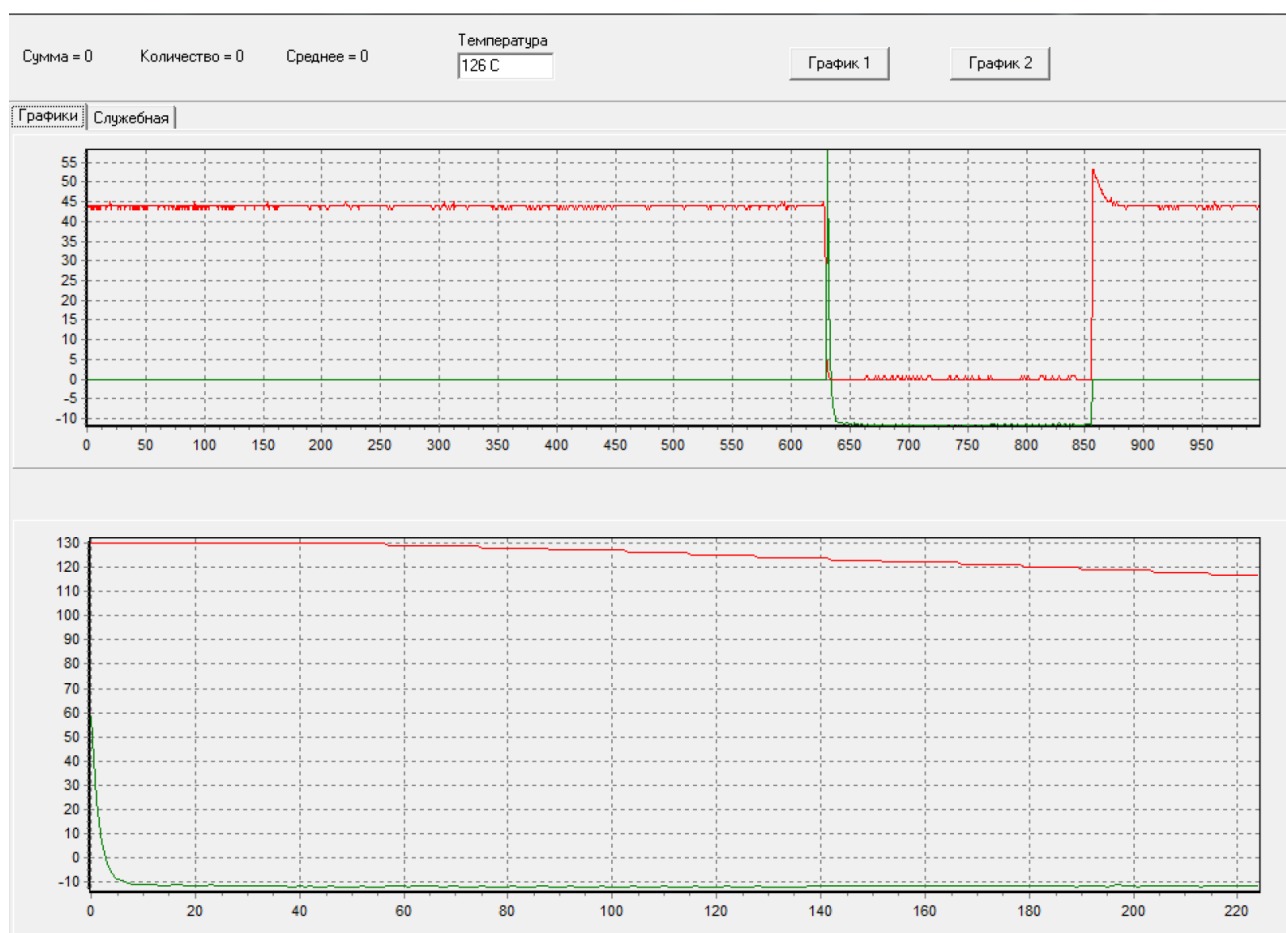


Рисунок 3.10 – Інтерфейс програмного забезпечення пристрою

У верхній частині «Графіки» відображається контактне значення опору (червона лінія) та термо-е.р.с. (зелена лінія) (див. рис. 3.10). У верхньому вікні показується, що початок вимірювального контролю в 6,3 с. У цей момент часу опір кола зменшився до нуля, що пояснюється наявністю хорошого контакту, а значення термо-е.р.с дорівнює 11 мкВ. Вимірювальний контроль завершено в 8,6 с. Контакт зник, а опір кола збільшився, під час цього значення термо-е.р.с дорівнює нулю. Тривалість всього процесу вимірювального контролю становила 2,3 с. У нижньому вікні наведено значення температури гарячого електрода, позначено червоною лінією, а величина термо-е.р.с. позначено зеленою лінією.

ВИСНОВКИ

У випускній кваліфікаційній роботі бакалавра розглянуто основні принципи роботи термоелектричного пристрою, який базується на диференційному сенсорі з багатьма точками контакту.

Виконано дослідження електричних характеристик і параметрів еквівалентного джерела термо-е.р.с. під час дії різних комбінацій складових джерел термо-е.р.с. Виявлено, що зміна опору навантаження впливає на значення внутрішнього опору та потужність джерела термо-е.р.с. Запропоновано визначати значення еквівалентного джерела під час паралельного підключення джерел термо-е.р.с.

Розроблено електронний пристрій для дослідження характеристик і параметрів термо-е.р.с., що дозволяє здійснювати дослідження під час зміни температури в широких межах. Виявлено вплив зміни опору навантаження на електричні характеристики і параметри термоелектричного джерела.

Розроблено електронний пристрій термоелектричного контролю дефектів у металах, який може застосовуватися для вимірювального контролю марок сталей, якості термічної обробки та контролю пластичної деформації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Carreon, H. Thermoelectric detection of spherical tin inclusions in copper by magnetic sensing / H. Carreon // Journal of Applied Physics, 2000, – Vol. 88, Issue. 11. – pp. 6495.
2. Hu, J. On the Thermoelectric Effect of Interface Imperfections / J. Hu, P.B. Nagy // Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation, 1999. – Vol. 18B. – pp. 1487 – 1494.
3. Faraji, A.Y. Design of a Compact, Portable Test System for Thermoelectric Power Generator Modules / A.Y. Faraji, A. Akbarzaden // Journal of ELECTRONIC MATERIALS, 2013 – Vol. 42 (7) – pp. 14 – 23.
4. Segall, A.E. Solutions for the correction of temperature measurements based on beaded thermocouples. / A.E. Segall // International Journal of Heat and Mass Transfer, 2001. – Vol. 44 (15). – pp. 2801 – 2808.
5. Yang, Zhou Fast Seebeck coefficient measurement based on dynamic method / Zhou Yang, Yang Donghua, Li Liangliang, Li Fu et al // Review of Scientific Instruments, 2014 – Vol. 85. – pp. – 48 – 52.
6. Hu, J. On the role of interface imperfections in thermoelectric nondestructive materials characterization / J. Hu, P.B. Nagy // Appl. Phys. Lett, 1998 – Vol. 73. – pp. 467 – 469.
7. Burkov, A.T. Experimental set-up for thermopower and resistivity measurements at 100-1300 K / A.T. Burkov, A. Heinrich, P.P. Konstantinov et al // Measurement Science and Technology, 2001 – Vol. 12. – pp. 264.
8. Jacquot, A. Proc. 25th Int. Conf. Thermoelectrics ed P Rogl / A. Jacquot, J. König, H. Böttner // Piscataway, NJ: IEEE, Catalog Nr. 06TH8931, 2006. – 184 p.
9. Simonet, L. Effet des heterogeneites sur le Pouvoir Thermoelectrique de l ' acier de cuve (in French) / L. Simonet // National Institute of Applied Sciences of Lyon, 2006. – Vol. 3. – pp. 86 – 92.
10. Martin, J. High temperature Seebeck coefficient metrology / J. Martin,

T. Tritt, C. Uher C., 2010. – Phys. – 108 p..

11. Iwanaga, S. A high temperature apparatus for measurement of the Seebeck coefficient A high temperature apparatus for measurement of the Seebeck coefficient / S. Iwanaga, E.S. Toberer, A. Lalonde, G.J. Snyder // Rev Sci Instrum, 2011. – 82 p.

12. Powell, R.L. Thermocouple reference tables based on the IPTS-68 / R.L. Powell, W.J. Hall, C.H. Hyink et al. // NBS monograph 125. – National Bureau of Standards, 1974. – 186 p.

13. Rigol User's guide for Model DM3068 Digital Multimeter, DMM Series // Beijing, China: Rigol Technologies Inc..
http://www.batronix.com/pdf/Rigol/UserGuide/DM3068_UserGuide_EN.pdf

14. Солдатов, А.А. Неразрушающий экспресс контроль металлов и сплавов методом дифференциальной термо-эдс / А.А. Солдатов, Е.А. Кривенко // Современные техника и технологии: сборник трудов XVII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 3 т. – Томск, 18-22 Апреля 2011. – Томск: ТПУ, 2011. – Т.1 – С. 208 – 209.

15. Жидецкий, В.Ц. Практикум із охорони праці / В.Ц. Жидецкий та ін. – Л.: Афіша, 2000 – 349 с.

ДОДАТОК А – Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві

До приміщення науково-дослідного відділу й організації робочого місця з обліком шкідливих виробничих факторів пред'являється ряд вимог. Приміщення в якому знаходиться робоче місце з ПК повинно мати природне освітлення, бажано з однобічним розміщенням світопрорізів, площа осклянілості яких не повинна перевищувати 25 % від площі стіни світопрорізами. Віконні прорізи в приміщенні з ПК повинні мати регульовані жалюзі чи занавеси або інші сонцезахисні пристрої. Не допускається розташування робочих місць із ПК у підвальних і цокольних поверхах. Робочі місця з ПК рекомендується розміщати в окремих приміщеннях. Площа на одного працюючого з ПК повинна складати 6 м², об'єм – 20 м³. Неприпустиме розташування ПК, при якому працюючий звернений обличчям, або спиною до вікон чи кімнати задньої частини ПК, у яку монтуються вентилятори.

Забороняється застосовувати для обробки інтер'єра приміщень із ПК полімерні матеріали (дерев'яностружечні плити, шпалери що миються, плівкові та рулоні синтетичні матеріали, шаруватий паперовий пластик та ін.), що виділяються в повітря шкідливі хімічні речовини, що перевищують гранично допустимі концентрації, не включені в «Перелік дозволених , МЗ» 1977-1985 р.

В лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідної роботи робочі місця з ПК розташовані від стіни з вікнами на відстані 1 м, відстань між столами складає 3 м. Екрани відеомоніторів ПК знаходяться від очей користувача на відстані 700 мм відповідно до СН 512-78, приміщення (S=21 м², V=73,5 м³) дозволяє розташовувати більше 3 робочих місця.

Робочі місця в положенні сидячі відповідають вимогам ДСТ 12.2.032 – 78 та ДСТ 12.2.029 – 77. Поверхня робочого столу знаходиться на висоті 0,75 метрів від підлоги, розміри робочої поверхні стільниці складають 1050x590 міліметрів, розміри вільного простору для ніг під столом складає висота 650, глибина 550, ширина 450 міліметрів відповідно. Робочий стілець оснащений

підйомно-поворотнім пристроєм, що забезпечує регуляцію висоти сидіння і спинки, пневматичним і гідравлічними амортизаторами та обладнанні підлокітниками.

А.1 Мікроклімат робочого місця

У приміщенні науково-дослідного відділу є джерела тепловиділення, тому необхідно визначити необхідні умови його вентильовання. Витрату повітря в приміщенні з додатковим тепловиділенням визначаємо за формулою:

$$L = \frac{Q_{\text{НАД}}}{c \cdot p \cdot (t_B - t_H)}, \quad (\text{A.1})$$

де $Q_{\text{НАД}}$ – надлишкове виділення тепла в робочому приміщенні, ккал/год.; c – теплоємність повітря (0,237 ккал/кг); p – обсягова вага повітря (1,226 кг/м³); t_B – температура витяжного повітря (30°C); t_H – температура приточного повітря (20°C).

Розрахуємо надлишкове надходження тепла за наступною формулою:

$$Q_{\text{НАД}} = Q_{\text{УСТ}} + Q_{\text{ПЕР}} + Q_{\text{ОСВ}} + Q_{\text{СР}}, \quad (\text{A.2})$$

де $Q_{\text{УСТ}}$ – виділення тепла від устаткування; $Q_{\text{ПЕР}}$ – виділення тепла робітниками; $Q_{\text{ОСВ}}$ – надходження тепла від електричного освітлення; $Q_{\text{СР}}$ – надходження тепла від сонячної радіації через вікна.

Визначимо виділення тепла від устаткування за формулою:

$$Q_{\text{УСТ}} = P \cdot K_a \cdot K_o \cdot 860, \quad (\text{A.3})$$

де P – сумарна потужність устаткування, кВт/год; K_a – коефіцієнт установленної потужності (0,95); K_o – коефіцієнт одночасної роботи (1,0).

$$\begin{aligned} Q_{уст} &= [x_1 \cdot k_1 + x_2 \cdot k_2 + x_3 \cdot k_3 + x_4 \cdot k_4 + x_5 \cdot k_5 + x_6 \cdot k_6 + x_7 \cdot k_7 + \\ &+ x_8 \cdot k_8 + x_9 \cdot k_9] \cdot K_a \cdot K_o \cdot 860 = \\ &= [1 \cdot 0,5 + 1 \cdot 0,1 + 1 \cdot 0,07 + 2 \cdot 0,4 + 1 \cdot 0,06 + 1 \cdot 0,05 + 1 \cdot 0,6 + 4 \cdot 0,15 + \\ &+ 1 \cdot 3,5] \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 860 = 5131 \text{ ккал/год} \end{aligned}$$

Визначимо виділення тепла від обслуговуючого персоналу за допомогою наступної формули:

$$Q_{пер} = n \cdot g = 2 \cdot 100 = 200 \text{ ккал/год}, \quad (\text{A.4})$$

де n – кількість працюючих; g – кількість тепла, що виділяє один працівник за годину (100 ккал/год.).

Визначимо надходження тепла від електричного освітлення за формулою:

$$Q_{осв} = E_M \cdot g_1 \cdot S = 300 \cdot 0,05 \cdot 21 = 315 \text{ ккал/год}, \quad (\text{A.5})$$

де E_M – нормована освітленість для цієї зорової роботи, величина якої дорівнює 300 лк; g_1 – питоме тепловиділення на 1 м² підлоги при 1 лк освітленості (для / люмінесцентних ламп – 0,05 ккал/год.) S – площа приміщення, м².

Визначимо надходження тепла від сонячної радіації через вікна за наступною формулою:

$$Q_{сп} = F \cdot g_2 \cdot K_{осл} = 7,5 \cdot 65 \cdot 0,4 = 195 \text{ ккал/год}, \quad (\text{A.6})$$

де F – площа віконних прорізів ($3 \times 2,5 = 7,5 \text{ м}^2$); g_2 – кількість тепла, що надходить через 1 м^2 віконного прорізу (65 ккал/год.); $K_{осл}$ – коефіцієнт ослаблення, приймаємо $0,4$.

Визначимо кількість надлишкового тепла:

$$Q_{НАД} = Q_{УСТ} + Q_{ПЕР} + Q_{ОСВ} + Q_{СР} = 5131 + 200 + 315 + 195 = 5841 \text{ ккал/год.}$$

Визначимо витрати повітря в приміщенні:

$$L = \frac{Q_{НАД}}{c \cdot p \cdot (t_B - t_H)} = \frac{5848}{0,237 \cdot 1,226 \cdot (30 - 20)} = 2010 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Існуюча в наявності система кондиціонування та вентилявання має продуктивність $2200 \text{ куб. м./годину}$, що задовольняє необхідним нормативам.

Параметри мікроклімату на робочих місцях регламентуються ДНАОП 0.03.3.15 – 86 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень № 4088–86». Відповідно доданих санітарних норм температура повітря, швидкість руху повітря та відносна вологість у холодні періоди року повинна складати $(22 - 24)$ градуса за Цельсієм, $0,1$ метра в секунду та $40-60 \%$ відповідно. При збереженні всіх параметрів можливе коливання температури від 21 до 25 градусів Цельсія. У теплі періоди року температура повітря повинна складати $(23 - 25)$ градусів Цельсія, рухливість повітря $(0,1 - 0,2)$ метрів секунду, вологість $(40 - 60) \%$. Температура може коливатися від 22 до 26 градусів Цельсія при збереженні всіх інших параметрів мікроклімату. Вище зазначені норми цілком відповідають фактичним даним приміщення лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідним відділом.

А.2.2 Розрахунок системи загального рівномірного освітлення з лампами розжарювання для приміщення, в якому використовуються зорові роботи високої точності

Розміри приміщення: довжина ($a=6$ м), ширина ($b=3,5$ м), висота ($h=3,5$ м). Приміщення має світлу побілку: коефіцієнт відбиття $P_{стелі} = 70 \%$, $P_{стін} = 50 \%$. Висота робочих поверхонь (столів) $h_p = 0,7$ м. Для освітлення прийнято світильники типу УПМ-15, які підвищуються до стелі, відстань від світильника до стелі $h_c = 0,4$ м. Мінімальна освітленість за нормами $E=200$ лк.

1) Визначимо висоту підвісу світильників над підлогою

$$h_0 = H - h_c = 3,5 - 0,4 = 3,1 \text{ м.}$$

Для світильників загального освітлення з лампами розжарювання потужністю до 200 Вт мінімальна висота підвісу над підлогою відповідно до СНІП П-4-79 повинна бути у межах (2,5 – 4,0) м, залежно від характеристики світильника. В лабораторії виміральної техніки та науково-дослідному відділу відповідає цій вимозі.

2) Визначимо висоту підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$h = h_0 - h_p = 3,5 - 0,4 = 2,8 \text{ м.}$$

Рівномірність освітлення досягається при відповідному співвідношенні відстані між світильниками (L) та висоти їх підвісу (h).

3) Визначимо рекомендовану відстань між світильниками

$$L = 0,7 \cdot h = 0,7 \cdot 2,8 = 2,0 \text{ м.}$$

4) Розрахуємо необхідну кількість світильників

$$N = \frac{a \cdot b}{L^2} = \frac{6 \cdot 3,5}{2^2} = 6.$$

Приймаємо 6 світильників, враховуючи розміри приміщення розміщуємо їх у два ряди по 3 штуки.

5) Світловий потік лампи світильника ($\Phi_{\text{л}}$) визначається за формулою:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta},$$

де E – нормативна освітленість, лк; K_3 – коефіцієнт запасу, який враховує зниження освітленості в результаті забруднення та старіння ламп; S – площа приміщення, що освітлюється, м²; Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення для ламп розширювання (1,15); N – кількість світильників; n – кількість ламп у світильнику; η – коефіцієнт використання світового потоку, який визначається за світлотехнічними таблицями залежно від показника приміщення (i) та коефіцієнтів відбиття стін та стелі.

6) Визначимо показник приміщення:

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} = \frac{6 \cdot 3,5}{3,5 \cdot (6 + 3,5)} = 2,21.$$

Коефіцієнт використання $\eta = 0,48$ для світильника УПМ-15 (при $i = 2,5$, $P_{\text{стелі}} = 70\%$, $P_{\text{стін}} = 50\%$)

Світловий потік одного світильника, а значить і лампи, оскільки за конструктивним виконанням у світильнику цього типу встановлена лише одна лампа, дорівнює:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 21 \cdot 1,15}{6 \cdot 1 \cdot 0,48} = 1677 \text{ лм.}$$

9) обираємо лампу Б-150 потужністю 150 Вт, світловий потік якої становить 2100 лм. Хоча це значення на 18% більше розрахованого, однак не перевищує встановлену норму ($-0\% < \Phi_{\text{л}} < +20\%$). Сумарна електрична потужність усіх світильників, встановлених у приміщенні становить:

$$P_{CB} = P \cdot N = 150 \cdot 6 = 900 \text{ Вт.}$$