МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ В. Н. КАРАЗІНА
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ КОМП'ЮТЕРНОЇ ФІЗИКИ ТА ЕНЕРГЕТИКИ
Кафедра інформаційних технологій в фізико-енергетичних системах

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломної роботи
за освітньо-кваліфікаційним рівнем магістр

«Порівнювальний аналіз контактних і дистанційних засобів вимірювання температури»

Виконав: студент 2 курсу, групи НФ-63
Кубрак Д. С.
спеціальність:
105 Прикладна фізика та наноматеріали
освітня програма: Прикладна фізика
енергетичних систем
Керівник: д.ф.-м.н., проф. Кокодій М.Г.

Рецензент:

Харків – 2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський національний університет імені В.Н.Каразіна

Навчально - науковий інститут комп'ютерної фізики та енергетики
Кафедра інформаційних технологій у фізико-енергетичних системах
Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) магістр
Спеціальність 105 Прикладна фізика та наноматеріали

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____доц. Сухов Р.В.
підпис

"____" _____2021 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ)

Кубрак Дмитро Сергійович

1.Тема роботи «Порівнювальний аналіз контактних і дистанційних засобів вимірювання температури»
керівник роботи: Кокодій Микола Григорович, доктор фізико-математичних наук, професор.
затверджені наказом по університету від "__"_____ 20 року № _____

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Перелік питань, які потрібно розробити:

1) Огляд методів вимірювання температури
2) Створення експериментальної установки
3) Проведення експерименту
4) Обробка результатів вимірювання

4. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи
1	Вибір теми.
2	Затвердження теми на кафедрі
3	Робота над літературою та іншими джерелами
4	Збір фактичного матеріалу для створення вступу та першого розділу
5	Підготовка матеріалів для другого розділу
6	Постановка задач, їх розв'язання та представлення результатів. Формування третього розділу
7	Формулювання висновків та формування списку цитованої літератури
8	Підготовка усної доповіді та представлення диплому науковому керівнику
9	Ознайомлення з відгуком, рецензією, внесення остаточних виправленню, підготовка до захисту
10	Представлення роботи на попередньому захисті, остаточне корегування презентації та докладу
11	Захист дипломної роботи

5.Дата видачі завдання _____

Студент _____ Дмитро КУБРАК
підпис

Керівник роботи _____ Миколай КОКОДІЙ
підпис

РЕФЕРАТ

Кубрак Д.С.

Порівнювальний аналіз контактних і дистанційних засобів вимірювання температури.

(45 стор., 33 ілюстрацій, 1 таблиця, 22 першоджерел)

У дипломній роботі проведено експеримент з вимірювання температури нагрітого тіла декількома контактними та дистанційними методами: термопарою, напівпровідниковим і металевим терморезисторами, дистанційним термометром і тепловізором. Проведено порівняння результатів вимірів. Вони добре узгоджуються між собою.

Комп'ютерний аналіз температурних залежностей терморезисторів дозволив виміряти теплові параметри матеріалів – міді та напівпровідника.

Ключові слова: температура, термометрія, термопара, тепловізор, інфрачервоне випромінювання, термістор, болометр, терморезистор.

ABSTRACT

Kubrak D.S.

Comparative analysis of contact and remote means of temperature measurement.

(45 pages, 33 illustrations, 1 table, 22 references)

In the thesis, an experiment was conducted to measure the temperature of a heated body by several contact and remote methods: a thermocouple, semiconductor and metal thermistor, a remote thermometer and a thermal imager. A comparison of measurement results was made. They agree well with each other.

Computer analysis of the temperature dependence of the thermistor allowed to measure the thermal parameters of the materials - copper and semiconductor.

Keywords: temperature, thermometry, thermocouple, thermal imager, infrared radiation, thermistor, bolometer, thermistor.

ЗМІСТ

Вступ……..7
1. КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ…….9
1.1 Рідкісні скляні термометри…….10
1.2 Датчики температури…….11
1.3 Термобатареї……...13
1.4 Біметалічні пристрої……..14
2. ПРИЛАДИ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ……..18
2.1 Термопари…….18
2.2 Резистивні прилади для вимірювання температури……19
2.3 Термометри…….22
2.4 Інфрачервоні датчики…….23
2.5 Тепловізори…….26
3. Експеримент…….30
3.1 Експериментальна установка…….30
3.2. Проведення експерименту……..33
3.3. Обробка результатів експеримента ……35
Висновки……...……..43
Список використаних джерел……44

ВСТУП

У промисловості при виконанні багатьох технологічних процесів отримання об'єктивної інформації про температуру робочих складів, розплавів, сумішей, компонентів у рідкому, твердому або газоподібному стані є особливо важливою технічною задачею.

Одним з важливих фізичних параметрів, які найчастіше вивчаються, спостерігаються і коригуються, будь то повсякденне домашнє життя людини, виробничі цикли або лабораторні дослідження, є показник температури. Залежно від властивостей, технічних особливостей і визначального механізму роботи існує певна класифікація вимірювальних приладів температури на окремі види: звичайні рідинні прилади або складні, вдосконалені електронні та лазерні вимірювачі, які є гідною альтернативою звичному побутовому термометру. Безумовно, принциповим і вирішальним фактором є місце застосування таких пристроїв. [1]

Необхідність вимірювання температури в пізнавальних та прикладних цілях виникла в середині 16 століття. Для таких вимірів необхідно було використати відому властивість повітря розширюватися при нагріванні було відоме Герону Олександрійському (істор.). [2]

Цим він пояснив, що вогонь піднімається нагору. У 1597 році Галілей запропонував термоскоп для вивчення температури, який складався із заповненого повітрям скляної посудини, з'єднаної тонкою трубкою з посудиною, наповненою забарвленою рідиною. Зміна температури банки призводила до зміни рівня забарвленої рідини. Істотним недоліком таких термометрів була залежність їх свідчень від атмосферного тиску. [3-8]

Конструкція термометра, схожа на рідке сучасне скло, пов'язана з ім'ям учня Галілея, герцога Тоскани Фердинанда II. Термометр був герметично закритий сосуд, наповнений спиртом, з вертикально спрямованим капіляром. Градусні поділки наносилися краплями емалі на капілярну трубку. [9]

Термометрія пройшла довгий шлях до єдності вимірювань температури. З давніх часів відомий спосіб якісної оцінки температури за допомогою тактильних відчуттів. З цього виникли поняття гарячого, теплого і холодного. [10]

Метою дипломної роботи є проведення експерименту з вимірювання температури тіла, що нагрівається та порівняльний аналіз отриманих результатів вимірювання.

Таким чином, об’єктом досліджень дипломній роботі є експериментальна установка яка складається з елемента, шо нагрівається та приладів для вимірювання температури, а предметом, - температура, що вимірювалася контактним та безконтактним методами.

1. КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

Температура є найбільш вимірюваною змінною в переробній промисловості та часто є критичним фактором у промисловій обробці. Якщо вимірювання температури не є точним або не надійним, це може негативно вплинути на ефективність процесу, споживання енергії та якість продукції.

Прийнята міжнародна температурна шкала, в якій температурі кипіння води (за звичайних умов) присвоєно значення 100 °, а температурі танення льоду - 0 °С. Температури, виміряні за міжнародною шкалою, позначають t, а числові значення супроводжують знаком °С (повна назва цього показника — «градусна шкала»). У використовуваних раніше шкалах Цельсія °С, Реомюра °Р і Фаренгейта °F за основу були взяті однакові температури кипіння води і танення льоду, але їм були присвоєні інші числові значення.

Наприклад, у парових котлах температуру насиченої пари визначали вимірюванням її тиску, температуру нагрітого металу, за кольором, за кольором світіння. У більшості випадків фізичні властивості вимірюваної системи залежать не тільки від температури, а й від її властивостей. Саме тому для визначення температури вдаються до введення в схему вимірювання так званого вимірювального тіла, фізичні властивості якого і його зміни в залежності від температури добре вивчені.

Визначення температури будь-якого тіла ґрунтується на тому, що між цією системою та вимірювальним тілом існує термодинамічна рівновага, тобто теплообміну немає. Така рівновага не може бути досягнута через зміну температури вимірюваного середовища, відведення тепла від вимірювального тіла, теплообміну випромінюванням тощо.

Методи і прилади для вимірювання температури класифікують залежно від того, які фізичні властивості вимірювального тіла використовуються для визначення температури.

1.1 Рідкісні скляні термометри

Термометри цього типу є найпершими приладами вимірювання температури. На їх базі були створені перші температурні шкали Ломоносова, Цельсія, Реомюра і Фаренгейта, ними вперше оснастили теплові агрегати. В даний час існує значна кількість більш досконалих приладів для вимірювання температури. Є дві основні конструкції рідкісних скляних термометрів: стрижневий і з вбудованою шкальною пластиною.



Рис. 1.1 Рідкісний скляний термометр

Скляний термометр є одним з найпоширеніших приладів для вимірювання температури.

Скляний термометр — це скляна трубка, наповнена ртуттю або іншою рідиною, в якій ртуть виступає робочою рідиною. Підвищення температури викликає розширення рідини, і ртуть змінює свої властивості залежно від температури. З підвищенням температури об’єм ртуті збільшується. Таким чином, температуру можна визначити, вимірявши об’єм рідини, а температуру можна зчитати, просто спостерігаючи за рівнем рідини в термометрі.

Теплове розширення рідини відбувається всередині термометра. Об’єм рідини змінюється відповідно зміні температури. Маленька зміна об’єму переміщує ртуть відносно далеко. Простір у скляній трубці заповнений азотом. На термометрі нанесена шкала для вимірювання температури під час розширення рідини. Шкала відкалібрована згідно до зміни температури.

Точність цього термометра залежить від виробництва. Він може вимірювати лише обмежений діапазон температур. Він доволі дешевий і доволі простий у використанні і не потребує живлення.

1.2 Датчики температури

Наступним еволюційним кроком у вимірюванні температури стали датчики температури. Принципи, пов’язані з термоелектричними ефектами, не були створені кимось одним, але відкриття термоелектричної поведінки приписують Томасу Йоганну Зеєбеку. У 1821 році Заабек відкрив, що в замкнутому ланцюзі, який складається з дроту з двох різних металів, буде існувати електричний струм, якщо температура одного з'єднання буде більше температури іншого.



Рис. 1.2 Термоелектричний датчик температури

Термоелектричні датчики засновані на теорії, згідно з якою при запаюванні двох різнорідних металів утворюється напруга, пов’язана з різницею температур між вимірювальним і еталонним спаями.

Термоелектричне електромагнітне поле ЕМП з’являється всередині термопари, коли у кінців термопари різна температура. Значення ЕРС пропорційне та зв’язане з різницею температур між двома точками, а не тільки з температурою вимірювального спаю. Потім ЕРС можна виміряти за допомогою мілівольтметра або потенціометра, під’єднаного до схеми визначення температури.

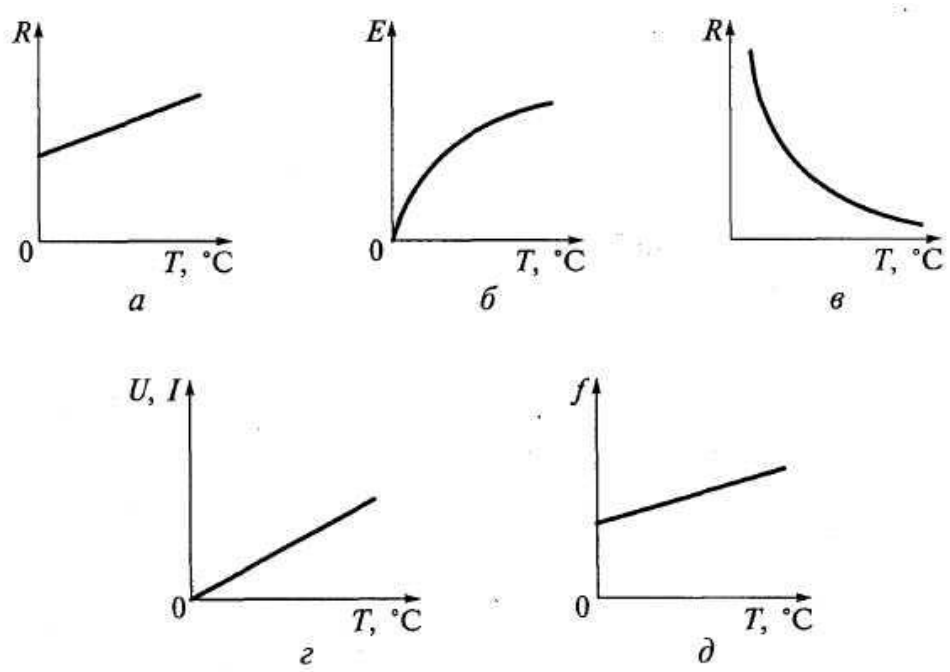


Рис. 1.3 Характеристики термоелектричних датчиків, а – металевий резистивний термометр; б – термопара; в – термістор; г – напівпровідникові інтегральні датчики; д – датчики на основі кварцових резонаторів

1.3 Термобатареї

Термобатарея - це група термопар, з'єднаних послідовно. У той час як термопара зазвичай використовується як одинарний з'єднувальний пристрій у промисловості, термобатарея складається з кількох з'єднань термопар, розташованих таким чином, що теплоізоляція може поглинатися одним набором.

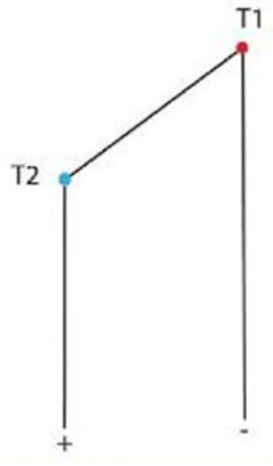


Рис. 1.4 Схема термобатареї

У той час як термопара зазвичай використовується в промисловості як єдиний сполучний пристрій, термобатарея – це група термопар, з'єднаних послідовно.

Таким чином, пристрій термобатареї складається з безлічі спаїв термопар, розташованих так, щоб виділення тепла могло поглинатися одним набором спаїв. Це викликає різницю температур між набором активних спаїв і еталонних спаїв, що створює напругу. Це робить термобатареї особливо корисними для вимірювання теплового випромінювання на певних довжинах хвиль.

1.4 Біметалічні пристрої

Відповідно до назви приладу, температура вимірюється за допомогою біметалу, тобто двох металів всередині термометра. Він складається з двох металевих смужок з різними коефіцієнтами теплового розширення. Цей пристрій працює при розширенні металів під час їх нагрівання. Металеві деталі з'єднані між собою приєднані до покажчика. При нагріванні одна сторона біметалічної стрічки розширюється більше другої.

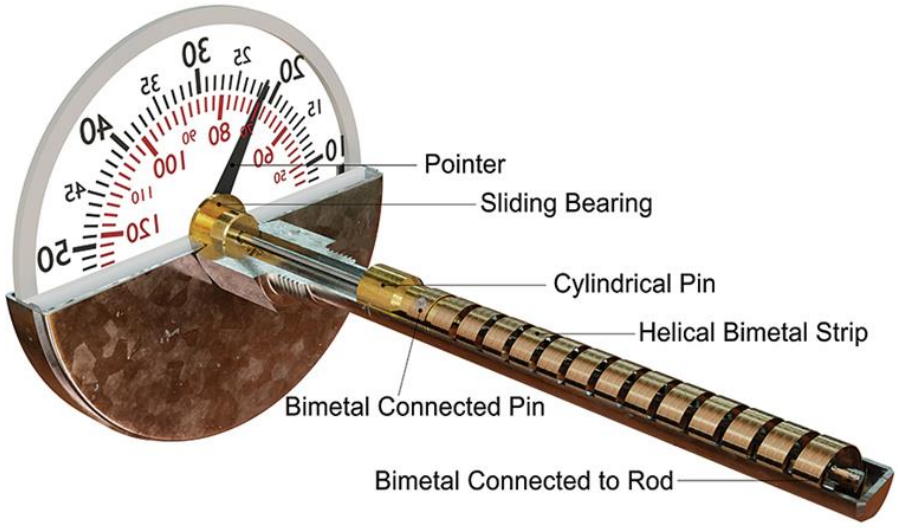


Рис. 1.5 Біметалічний термометр



Рис. 1.6 Термометр з колбою та капілярним датчиком



Рис. 1.7 Герметичний сильфон

Герметичний сильфон є ще одним основним пристроєм, який використовується для вимірювання температури палива та повітря. Його заповнюють газом, парою або рідиною відповідно до наших вимог і наявності. Це вказує на зміну температури зі зміною об’єму та тиску внаслідок розширення чи звуження. Цей пристрій дуже чутливий при заправці газом. Заповнені рідиною сильфони можна використовувати як датчики.

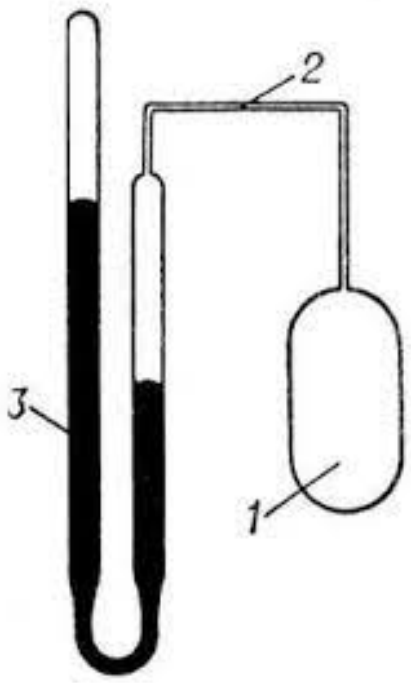


Рис. 1.8 Газовий термометр: 1 - балон заповнений газом, 2 - сполучна трубка, 3 - пристрій для виміру тиску.

Тут газ використовується як термометрична властивість. Як зрозуміло з назви, газовий термометр із постійним об’ємом складається з фіксованої кількості газу в ємності. Вимірювання базується на зміні тиску газу прямо пропорційні змінам температури газу, якщо об’єм незмінний. Для газового термометра постійного об’єму, якщо використовувати рівняння ідеального газу, ми побачимо, що температура залежить від тиску, оскільки інші властивості постійні.

2. ПРИЛАДИ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

Температура визначається як рівень енергії матері, який може збільшити активність цієї матері. Датчики температури вимірюють різні параметри, а їх показання вимірюють температуру, фіксуючи високі значення фізичних характеристик.

2.1 Термопари

Термопари - це пристрої напруги, які вимірюють температуру шляхом зміни напруги. З підвищенням температури вихідна напруга термопари зростає — не обов’язково лінійно.

Часто термопара розташовується всередині металевій або керамічній оболонці, яка захищає її від впливу різних середовищ. Термопари в металевій оболонці також доступні з багатьма типами зовнішнього покриття, наприклад тефлоновим, для безпроблемного використання в кислотах і сильних їдких розчинах.

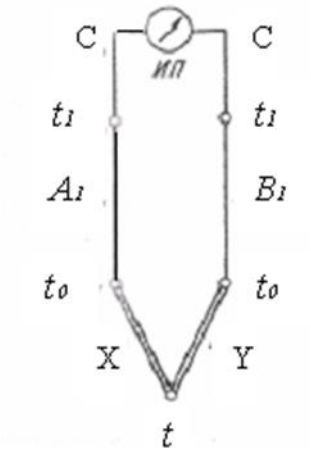


Рисунок 2.1. Схема з'єднань комплекту для вимірювання температури за допомогою термопари

Один кінець називається гарячим спаєм, а другий — холодним. Вимірювальний елемент з гарячим з’єднанням поміщається посередині оболонки датчика та піддається впливу процесу. Холодний спай, або контрольний спай, є кінцевою точкою за межами процесу, де відома температура і де вимірюється напруга. Цією кінцевою точкою зазвичай є вхідна система керування або датчик температури.

2.2 Резистивні прилади для вимірювання температури

Резистивні вимірювачі температури також електричні. Замість використання напруги, як у термопарі, вони використовують іншу характеристику матерії, яка змінюється з температурою - її опір. Існує два типи приладів опору: термометри опору (RTD) і термістори.



Рис. 2.2 Термометр опору



Рис. 2.3 Термістор

Датчики температури опору (RTD). Термін температурний датчик опору технічно включає термісторні пристрої; однак термін RTD означає спеціальний детектор голого металу, а не загальний напівпровідниковий резистивний елемент.

Ці пристрої з чистого металу точні та стабільні протягом тривалого часу, на відміну від термістора. Платиновий термометр опору є лінійним приладом, і його опір змінюється лінійно з температурою. Саме чистота металу є фактором, що впливає на точність вимірювання. Крім того, нікель, мідь і вольфрам в даний час використовуються як стандарт для платини.

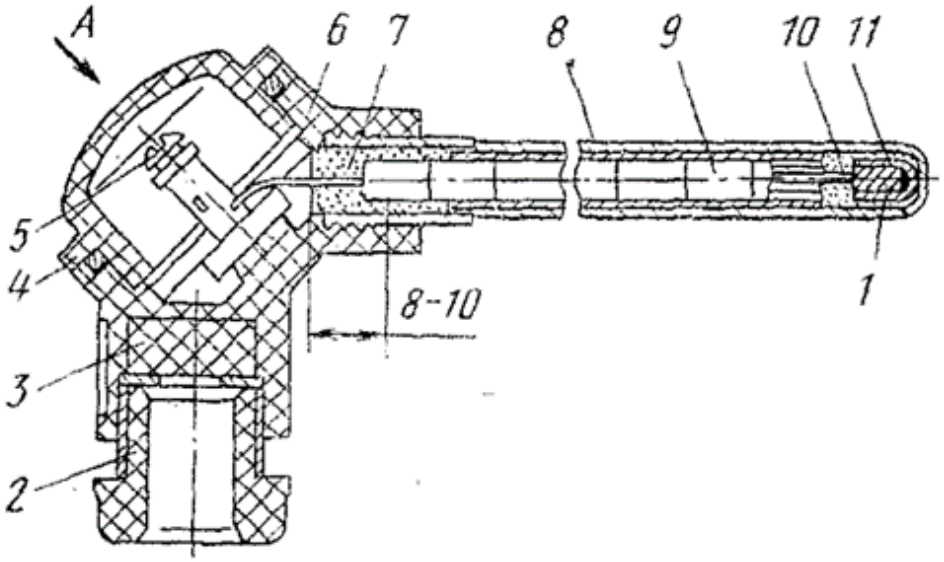


Рис. 2.4 Конструкція термоелектричного термометра типу ТХА/ТХК: 1 - керамічний наконечник; 2 – штуцер; 3 – сальникове ущільнення; 4 – кришка; 5 – колодка; 6 – водозахисна головка термометра; 7 – епоксидний компаунд; 8 – захисна арматура; 9 – керамічні ізолятори; 10 – термоелектроди; 11 – гарячий спай.

Термістор - це нелінійний пристрій, електричний опір якого змінюється залежно від температури. Сучасні термістори, спочатку виготовлені з петель резистивного дроту, використовують спечений напівпровідниковий матеріал, придатний для великих змін опору з невеликою зміною температури.

Ці пристрої мають від’ємний температурний коефіцієнт так, як з підвищенням температури опір зменшується, але вони точніші. Основні переваги терморезисторів - маленькі розміри і низька вартість. Основним недоліком є крихкість, що обмежує їх використання в промисловості.

Загалом, RTD є більш лінійними, ніж термопари. Вони зростають у позитивному напрямку, а опір зростає з підвищенням температури. Крім того, терморезистор має інший тип конструкції. Це нелінійний напівпровідниковий прилад, опір якого зменшується з підвищенням температури. [11]

2.3 Термометри

Термометри - це добре відомі пристрої розширення рідини, які також використовуються у вимірюванні температури. Загалом вони поділяються на дві основні групи: ртутні та органічні, зазвичай червоні - рідкі. Різниця між ними помітна, оскільки ртутні пристрої мають певні обмеження щодо того, як їх можна безпечно транспортувати чи відправляти.



Рис. 2.5 Ртутний термометр



Рис. 2.6 Органічний термометр

2.4 Інфрачервоні датчики

Інфрачервоні датчики є безконтактними. Наприклад, якщо ви піднесете інфрачервоний датчик до передньої частини столу без контакту, датчик повідомить вам температуру столу через своє випромінювання. Наприклад, при вимірюванні безконтактно води з льодом температура буде трохи нижче 0°C через випаровування, що трохи знижує очікуване значення температури. [12-15]

Усі тіла з температурою вище 0 К випромінюють інфрачервону енергію. Інфрачервоне випромінювання – це частина електромагнітного спектру, яка лежить між видимим світлом і радіохвилями. Інфрачервоний діапазон довжин хвиль становить від 0,7 до 1000 мкм, як показано на рис. 2.7. Однак на практиці в цьому широкому діапазоні для вимірювання температури придатні лише довжини хвиль від 0,7 до 20 мкм. Зараз на ринку немає детекторів, які були б достатньо чутливими, щоб вимірювати невелику кількість випромінюваної

енергії понад 20 мкм. Кількість енергії, що виділяється поверхнею, пропорційна четвертому степеню температури поверхні.

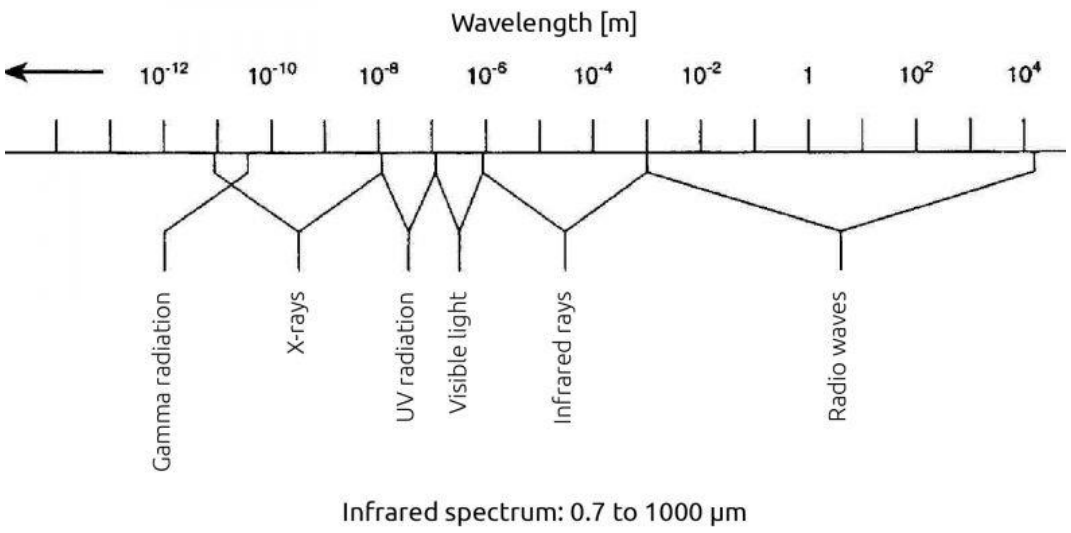


Рис. 2.7 Електромагнітний спектр



Рис. 2.8 Інфрачервоний термометр

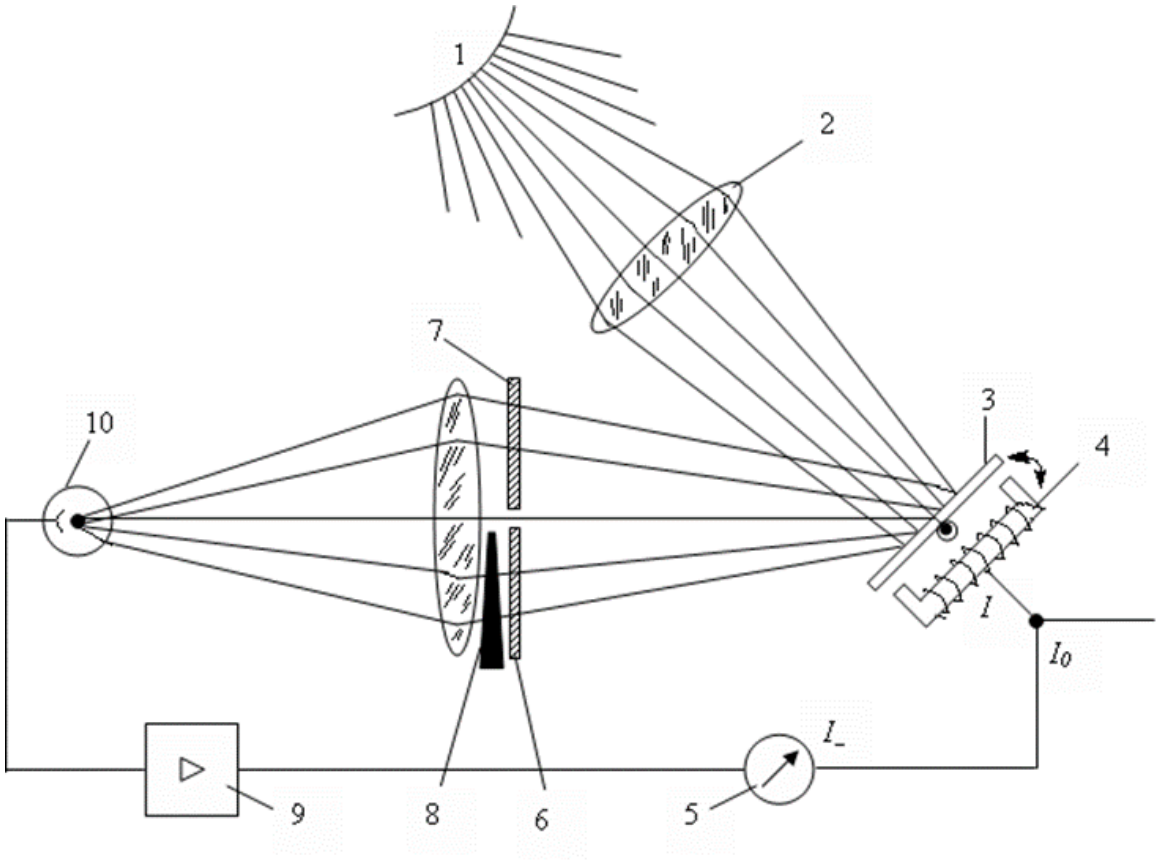


Рис. 2.9 Схема пірометра. 1 – об'єкт вимірів; 2 - лінза; 3 - дзеркало, яке коливається; 4 – електромагнітний вібратор; 5 – амперметр; 6 – зелений світлофільтр; 7 – червоний світлофільтр; 8 – оптичний клин; 9 – підсилювач; 10 – фотоприймач.

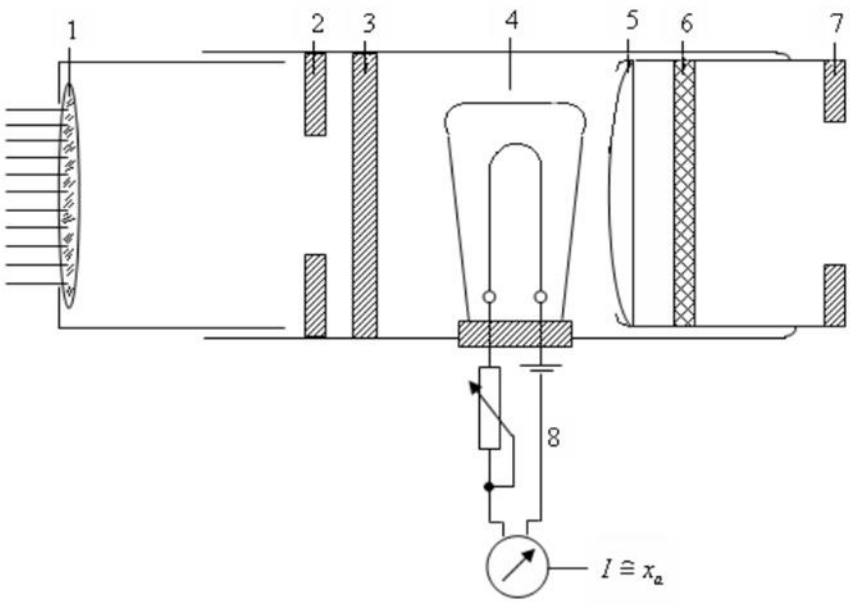


Рис. 2.10 Яркістний оптичний пірометр. 1 – об'єктив; 2 – діафрагма; 3 – сірий світлофільтр; 4 – вольфрамова нитка лампи; 5 – окуляр; 6 – червоний світлофільтр; 7 – окуляр; 8 – ручка

2.5 Тепловізори

Тепловізори — це електронні пристрої з інтегрованим візуальним дисплеєм, призначені для визначення теплової енергії.

Основним компонентом тепловійної камери є датчик тепла, прикріплений до спеціального типу лінз, який потім адаптується для роботи разом зі стандартними технологіями захоплення зображень. Це дозволяє інженерам швидко визначати місця з надмірною температурою або місце втраченої теплової енергії, такі як перегрівання компонентів або потенційні прогалини в теплоізоляції під час огляду будинку. [16]



Рис. 2.11 Процес вимірювання температури тепловізором

Видиме світло відповідає лише малій частині електромагнітного спектру, і це єдина частина, яку ми можемо побачити. При наведенні на об’єкт або область датчик на тепловій камері дозволяє користувачеві бачити невидимий інфрачервоний спектр, який існує на довжинах хвиль між видимим світлом і мікрохвилями. [17-20]

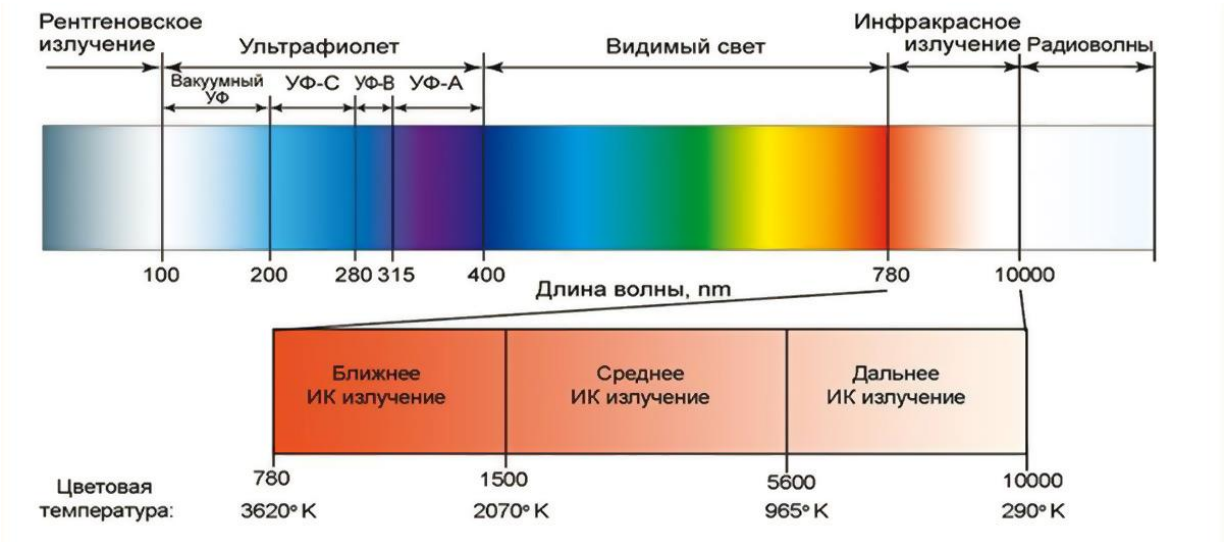


Рис. 2.12 Спектр оптичного випромінювання

У сучасних інфрачервоних камерах це часто відображається як кольорова карта, хоча деякі перевагу надають чорно-білим дисплеям через менший візуальний безлад і захоплення дрібних деталей.

На кольоровому термографічному дисплеї більш теплі компоненти або області відображатимуться як червоні, помаранчеві та жовті кольори, тоді як більш холодні частини зазвичай відображатимуться як фіолетові та сині. Оскільки вони вимірюють інфрачервоне випромінювання, а не видиме світло, теплові камери також корисні для ідентифікації джерел тепла в дуже темних або інших темних середовищах. [21]



Рис. 2.13 Фото тепловізора

Конструктивно складаються з оптичної камери та приборів обробки інформації. Камера приймає випромінювання. Чутливі елементи приймача можуть виготовлюватися з фотоелементів на основі напівпровідників. Лінзи

виготовляються із напівпровідників або матеріалів здатних пропускати інфрачервоне випромінювання.

Тепловізори дозволяють здійснювати, вимірювання та візуалізацію температурних полів, та при використанні з ЕОМ – виконувати цифрову обробку інформації. Вони застосуються у медицині, металургії, фізичні експерименти, мікроелектронне виробництво, та ін. [11]

3. ЕКСПЕРИМЕНТ

Було проведено експеримент, в якому вимірювалася температура тіла в процесі його нагрівання та подальшого охолодження кількома різними методами.

Метою експерименту було:

1. Порівняння результатів вимірів;
2. Визначення параметрів датчиків температури як вимірювальних перетворювачів;
3. Визначення параметрів матеріалів, у тому числі тих, з яких виготовлені датчики температури.

3.1. Експериментальна установка

Головна частина експериментальної установки показано на (рис. 3.1). Нагрітим елементом 1 був резистор ПЕВ опором 564 Ом. Це порожнистий циліндр довжиною 90 мм із зовнішнім діаметром 32 мм, внутрішнім діаметром 20 мм .До нього було надано напругу 110 В та він нагрівався до 100 ° Цельсія.

До поверхні резистора було прикріплено кілька датчиків температури (рис. 3.1):

1. Термопара мідь-константан - 2. Сигнал із неї 5 подавався на мультиметр М3500 і далі вводився в комп'ютер.
2. Напівпровідниковий терморезистор (термістор) 3 з початковим опором 20.3 Ом за температури 16 ° С. При нагріванні опір його зменшується. Воно вимірювалося мультиметром DT 33 C – 6.
3. Дротовий терморезистор (болометр) 4. Це мідний дріт у лаковій ізоляції діаметром 0.1 мм, намотаний на нагрівальний елемент. Її опір при

температурі 16 °С дорівнює 31.13 Ом. В експерименті воно вимірювалося мультиметром 7 типу UTM 171A .

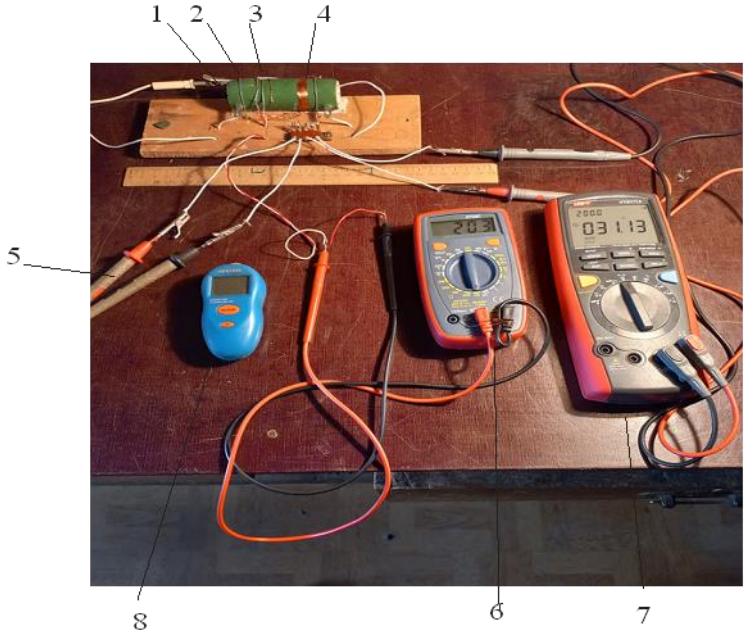


Рис. 3.1. Експериментальна установка

1 – елемент, що нагрівається, 2 – термопара, 3 – напівпровідниковий терморезистор, 4 – дротяний болометр, 5 – виведення сигналу термопари на мілівольтметр, 6 – омметр DT33C , 7 – омметр UTM 171A, 8 – термометр DT 8260 Mini thermometer

Використовувалися два прилади для дистанційного вимірювання температури:

1. Термометр 8 типу DT 8260 Mini thermometer. При вимірах він націлювався на середину резистора, що нагрівається.
2. Тепловізор WT 3320 (рис. 3.2). Він дає теплову картину нагрітого резистора (рис. 3.3).



Рис. 3.2. Тепловізор WT 3320

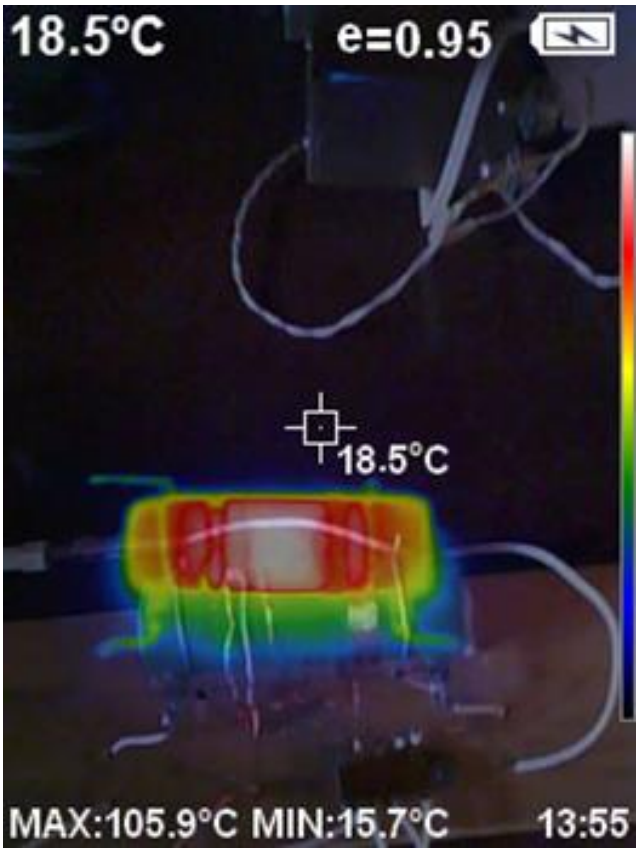


Рис. 3.3. Екран тепловізора

На екран виведено таку інформацію:

- Прийнятий для цього випадку коефіцієнт поглинання випромінювання (E = 0.95);

- час, коли було зроблено знімок (13 год. 55 хв.);

- у верхньому лівому кутку та біля візира з хрестиком – температура у точці візира (18.5 °C);

- Tmax = 105.9 °C – максимальна температура в центрі плями;

- Tmin = 15.7 °C температура фону.

3.2. Проведення експерименту

Процес вимірів був наступний.

У час t = 0 включався нагрівання резистора, з періодом 1 хв. робилися знімки тепловізором і записувалися такі дані:

- Час виміру t ;

- Опір термістора Rt ;

- Опір болометра Rb ;

- температура T вимірювана термометром DT 8260;

-максимальна Tmax та мінімальна Tmin температура з екрану тепловізора.

Сигнал із термопари мідь-константан Ut з періодом 1 с. записувався у файл мультиметром M3500.

Нагрів йшов протягом 15 хв. Потім він вимикався, і записувався процес остигання резистора.

Таблиця 3.1

Протокол вимірів

t, хв.	Rt, Ом	Rb, Ом	T, °C	Tmax, °C	Tmin, °C
0	16.0	31.23	17.7	16.8	15.5
1	13.2	32.23	22.1	27.5	14.1
2	10.1	33.74	40.2	33.5	14.2
3	8.4	35.08	53.0	46.2	14.9
4	7.4	36.13	60.6	56.6	14.8
5	7.1	36.84	69.3	63.5	15.9
6	5.5	37.64	73.3	69.3	15.9
7	4.5	38.44	81.9	76.6	15.9
8	4.6	39.05	85.4	81.3	11.3
9	4.3	39.50	91.1	85.6	15.6
10	4.1	39.95	94.3	89.5	15.6
11	3.9	40.26	96.7	92.9	16.1
12	3.3	40.59	99.4	96.6	15.6
13	3.6	40.95	101.7	99.8	16.1
14	3.6	41.25	104.7	101.5	15.3
15	4.7	41.55	107.3	103.8	16.5
16	5.2	41.75	107.5	106.0	16.1
17	4.8	40.65	98.0	103.5	16.8
18	6.2	39.75	88.6	90.1	16.9
19	6.6	38.95	82.6	82.2	15.8
20	7.2	38.35	76.5	76.8	15.5
21	6.9	37.54	68.2	71.2	16.0
22	7.4	36.99	63.8	64.5	14.8
23	8.5	36.54	60.6	61.1	16.8
24	8.7	35.95	55.6	56.7	14.3
25	9.5	35.54	51.4	51.7	16.0
26	9.9	35.28	47.2	49.7	16.0
27	10.3	34.88	44.0	46.8	15.9
28	10.6	34.55	41.9	43.5	15.2
29	11.3	34.34	39.6	41.5	16.4
30	12.5	34.10	37.6	39.4	16.9
31	12.3	33.84	35.6	37.6	16.7
36	14.6	32.94	28.5	29.5	15.1
41	17.5	32.43	25.3	25.3	16.5
45	20.5	32.13	23.3	23.4	15.8

3.3. Обробка результатів експеримента

Дистанційне вимірювання температури. На (рис. 3.4) показані графіки зміни температури поверхні резистора, що нагрівається, в середній точці по його довжині, виміряної дистанційним термометром DT 8260 і тепловізором WT 3320 (стовпці 4, 5 і 6 протоколу вимірювань).

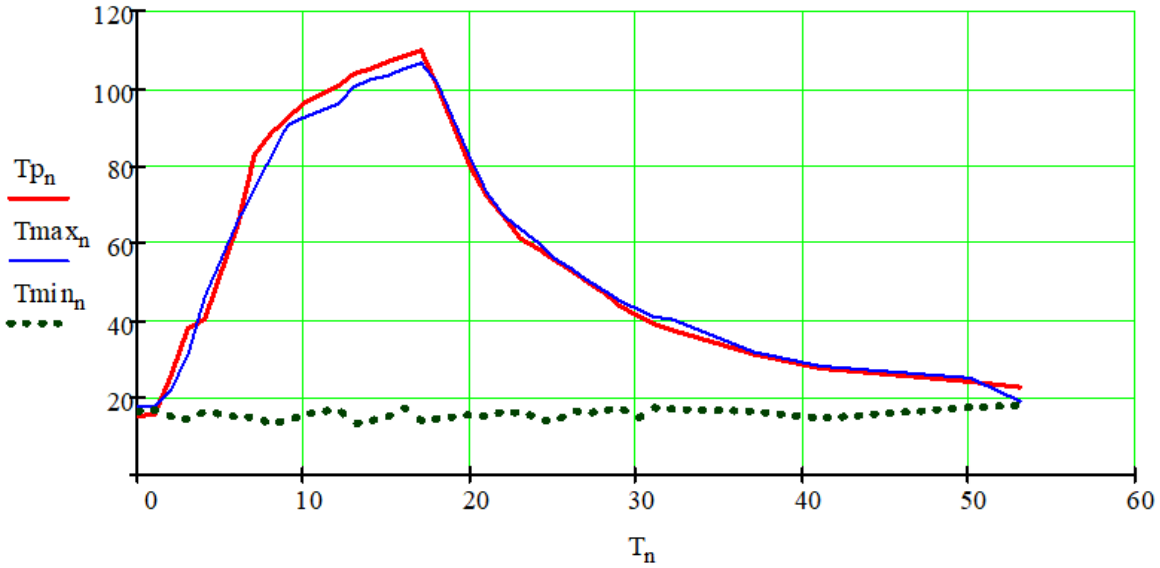


Рис. 3.4. Дистанційне вимірювання температури. Товста червона лінія – термометр DT 8260, тонка синя лінія – тепловізор WT 3320, пунктирна лінія – температура навколишнього середовища)

Виходячи з цього графіка збіг результатів хороший – у межах похибок вимірювань (±2 °С для обох приладів) і неточності наведення на місце вимірювань (±1 мм).

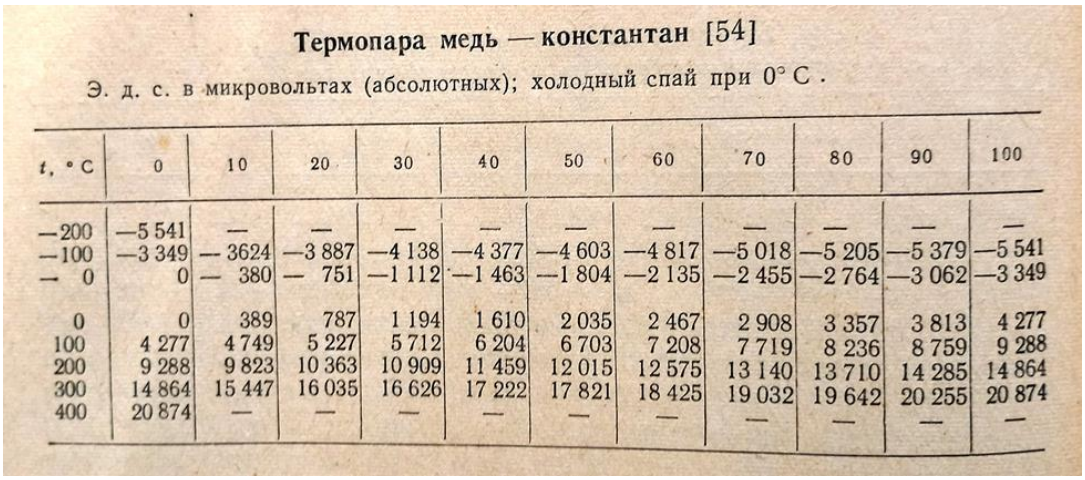
Вимірювання температури термопарою. Виготовлена в лабораторії університету термопара – це мідна та константанові дроти діаметром 0.1 мм, з'єднані між собою точковим зварюванням. З'єднання утворює гарячий спай термопари. Він прикріплений до поверхні резистора клеєм 88, який утворює тонку плівку, що не впливає на процес передачі тепла від резистора до

термопари, так як час проходження тепла через плівку набагато менший за постійний час нагрівання резистора. "Холодний" спай термопари утворюється з'єднанням константанового дроту термопари з мідним провідником, за яким сигнал з термопари вводиться в прилад для вимірювання термо ЕРС - мультиметр Picotest M3500 (рис 3.5). Дані мультиметра вводилися в комп'ютер з періодом 1 с протягом всього процесу нагрівання і охолодження.



Рис. 3.5 Фото мультиметра Picotest M3500

Для калібрування термопари скористалися наведеною нижче таблицею з довідника [22].



Термопара медь — константан [54]

Э. д. с. в микровольтах (абсолютных); холодный спай при 0° С.

t, °C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
—200	—5 541	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—100	—3 349	— 3624	—3 887	—4 138	—4 377	—4 603	—4 817	—5 018	—5 205	—5 379	—5 541
— 0	0	— 380	— 751	—1 112	—1 463	—1 804	—2 135	—2 455	—2 764	—3 062	—3 349
0	0	389	787	1 194	1 610	2 035	2 467	2 908	3 357	3 813	4 277
100	4 277	4 749	5 227	5 712	6 204	6 703	7 208	7 719	8 236	8 759	9 288
200	9 288	9 823	10 363	10 909	11 459	12 015	12 575	13 140	13 710	14 285	14 864
300	14 864	15 447	16 035	16 626	17 222	17 821	18 425	19 032	19 642	20 255	20 874
400	20 874	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Рис. 3.6 Фото з довідника [22]

У діапазоні температур, що використовується в експерименті, від 0 до 100 °С характеристика термопари нелінійна. Обробка даних таблиці методом найменших квадратів дає таку формулу визначення температури:

$$T(u) = 0.734 + 24.75\,u - 361.7\,u^2,$$

де u – сигнал із термопари в мілівольтах, Т – температура у градусах Цельсія.

На рис. 3.7 товстою штриховою лінією показані результати вимірювання термопарою. Термопара вимірює різницю температур резистора та навколишнього середовища. При додаванні цієї температури до температури, виміряної термопарою, виходить хороший збіг всіх результатів вимірів.

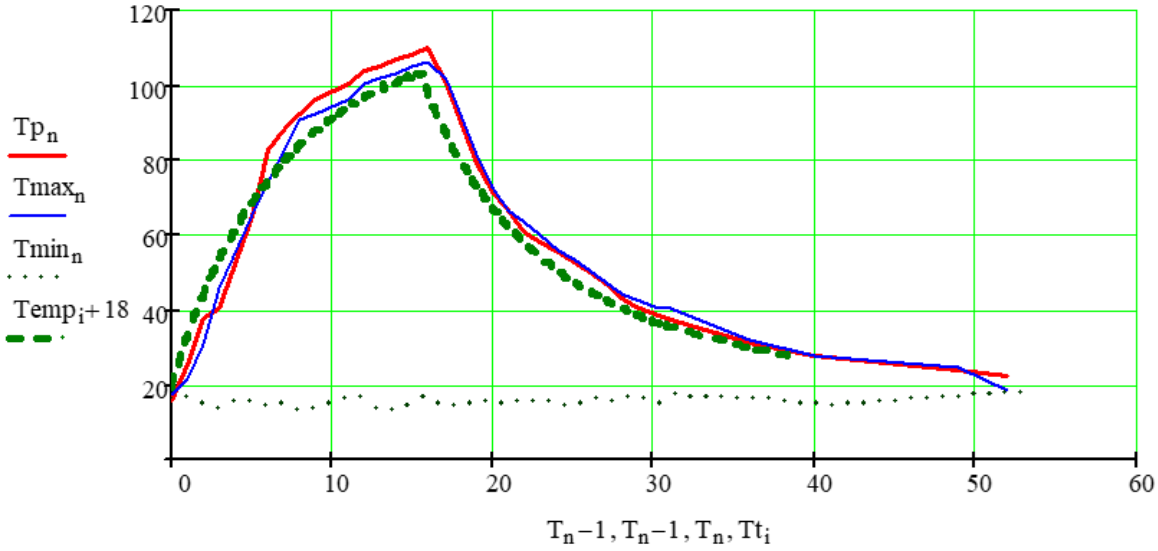


Рис. 3.7. Результати вимірів

Розподіл температури вздовж резистора. Картина на екрані тепловізора дає можливість отримати розподіл температури вздовж резистора у цифровому вигляді. У програмі MATHCAD функція READBMP як результат видає матрицю чисел від 0 до 256, що відповідає кольоровій картині. На рис. 3.8 показано картину на екрані тепловізора, на рис. 3.9 – лінійний графік розподілу температури вздовж осі резистора.

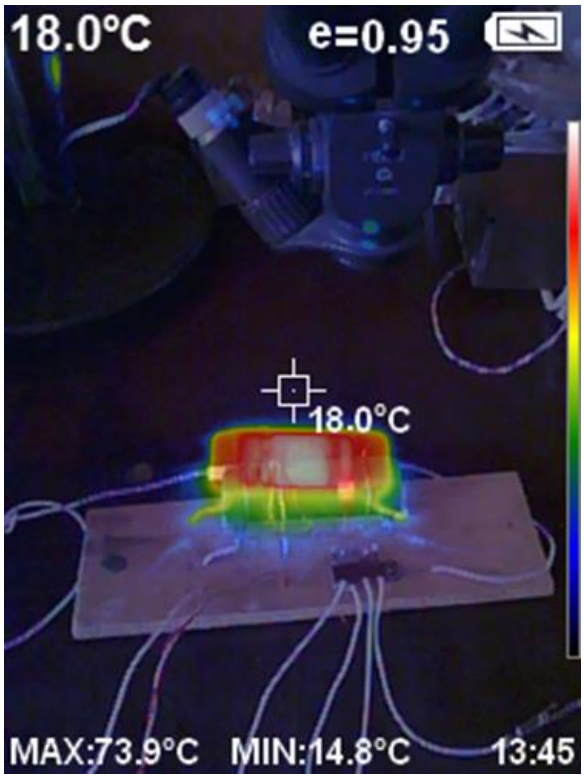


Рис. 3.8. Картина розподілу тепла по резистору

На середині лінійного графіка видно ділянку високої температури до 80 ° С довжиною близько 30 мм. На рис. 3.8 вона має білий колір. По краях від нього два гострі піки температури. Їх видно і на екрані тепловізора. Очевидно, це точки з'єднання провідних мідних проводів з нагрівачем всередині резистора.

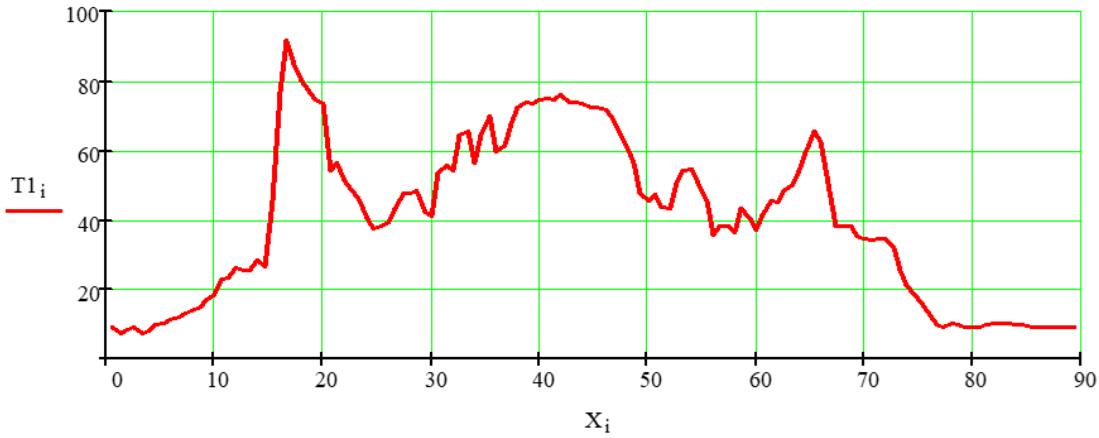


Рис. 3.9. Розподіл температури вздовж резистора

Вимірювання температурних параметрів міді. У ході експерименту вимірювалося опір мідного дроту, намотаного на резистор. На рис. 3.10 показано, як він залежить від температури.

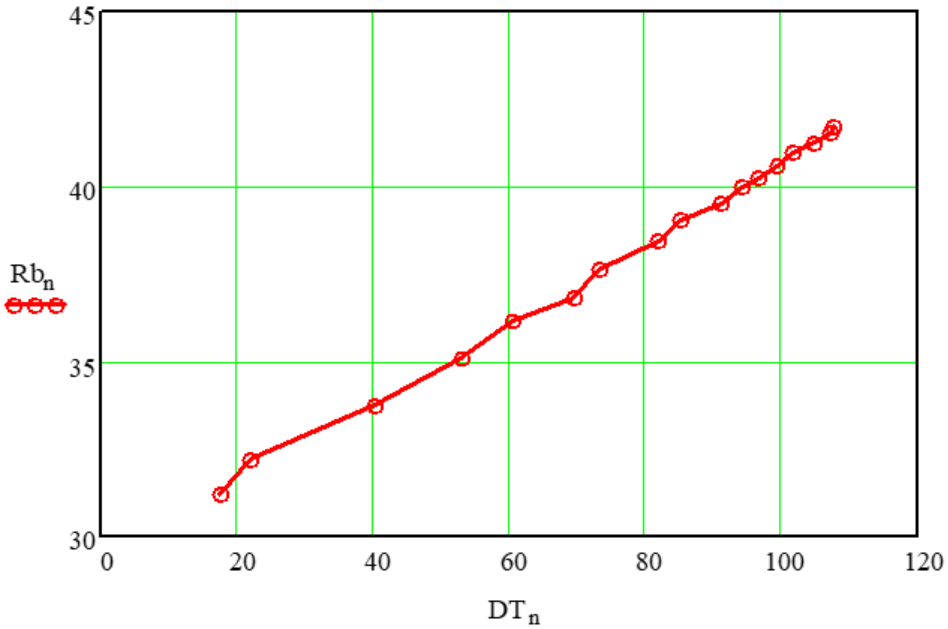


Рис. 3.10. Залежність опору мідного болометра від температури

Ця залежність дозволяє визначити температурний коефіцієнт опору міді. Як відомо, у першому наближенні опір металу залежить від температури так:

$$R = R_0(1 + \alpha T)$$

де R_0 - опір при 0^o С, α - температурний коефіцієнт опору. Знаючи залежність, показану на рис. 3.10 можна знайти, як залежить від температури температурний коефіцієнт опору:

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1(T_2 - T_1)}$$

На рис. 3.11 лінією з кружками показана така залежність. Розкид точок викликаний похибками вимірювань температури та опору. Пряма лінія – це лінійна апроксимація експериментальних даних за допомогою методу найменших квадратів.

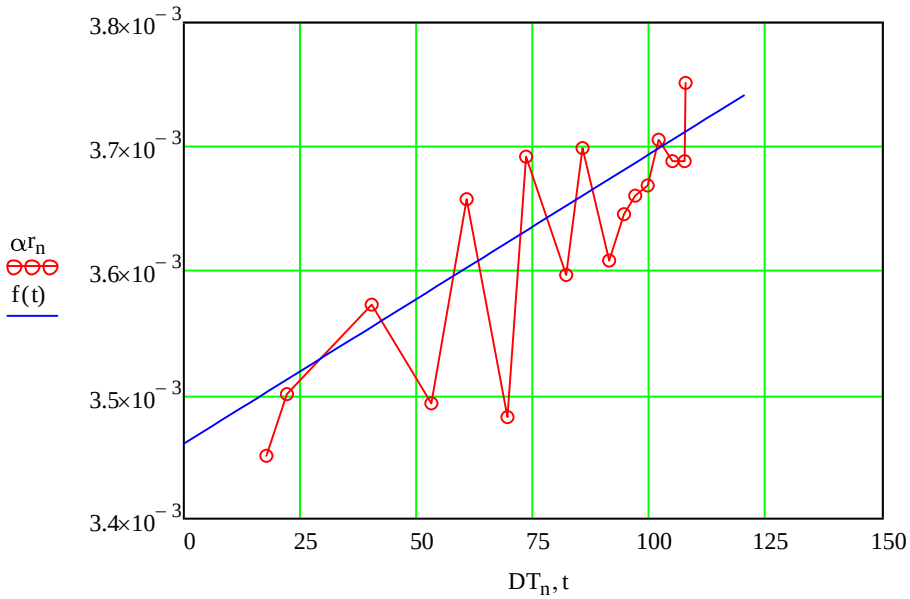


Рис. 3.11. Залежність температурного коефіцієнта міді від температури

Аналітичний вираз цієї залежності такий:

$$\alpha(T) = 3.46 \cdot 10^{-3} + 2.34 \cdot 10^{-6} T$$

Тому залежність опору мідного провідника від температури виглядає так:

$$R = R_0 \left(1 + 3.46 \cdot 10^{-3} T + 2.34 \cdot 10^{-6} T^2\right)$$

При точних вимірах температури за допомогою дротяного болометра необхідно враховувати, що температурний коефіцієнт опору залежить від температури і користуватися останньою наведеною формулою.

Вимірювання температурних параметрів напівпровідникового терморезистора. Залежність опору напівпровідникового терморезистора від температури можна записати так:

$$r(t) = r_0 e^{\frac{W}{kT}}$$

де r_0 – деякий характеристичний опір, W – ширина забороненої зони, k = 1,38·10^{-23} Дж/К – постійна Больцмана, T – температура в кельвінах.

На рис. 3.12 лінією з кружками показана експериментальна залежність опору терморезистора від температури. На відміну від залежності для мідного болометра – це залежність, що спадає. При нагріванні опір зменшується. Суцільною лінією показано апроксимацію цієї залежності за допомогою методу найменших квадратів. Параметри залежності отримали такі:

$$r_0 = 0.06 \ \ Ом, \quad W = 2.2 \cdot 10^{-20} \ \ Дж$$

Це параметри, властиві арсеніду індія.

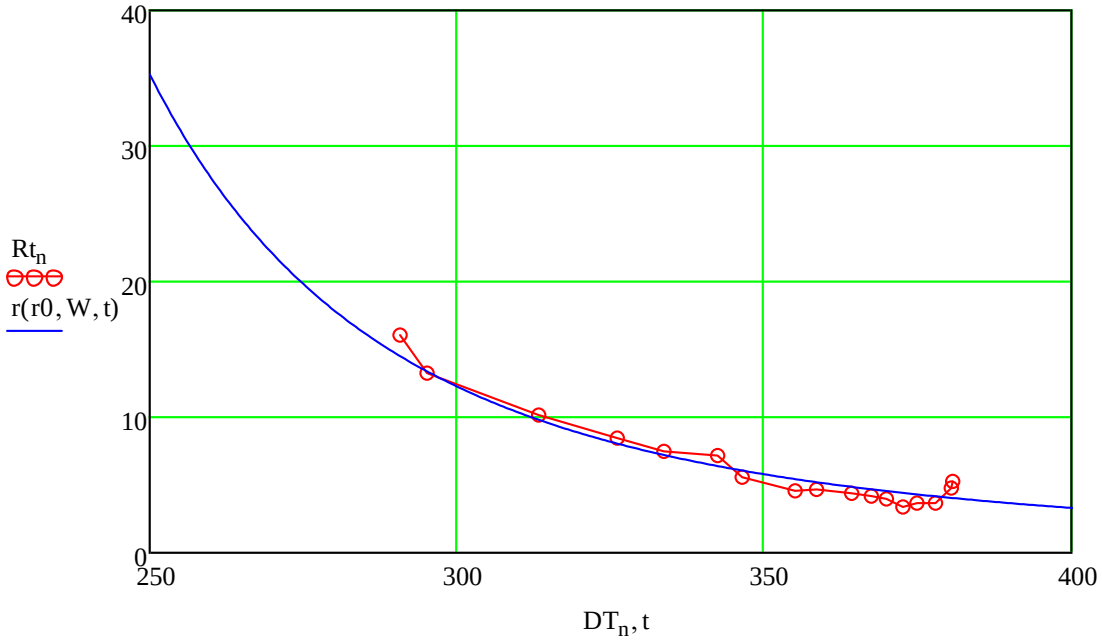


Рис. 3.12. Залежність опору напівпровідникового терморезистора від температури

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі проведено експеримент з вимірювання температури нагрітого тіла декількома контактними та дистанційними методами: термопарою, напівпровідниковим і металевим терморезисторами, дистанційним термометром і тепловізором. Проведено порівняння результатів вимірів. Вони добре узгоджуються між собою.

Комп'ютерний аналіз температурних залежностей терморезисторів дозволив виміряти теплові параметри матеріалів – міді та напівпровідника.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Антоненко С.С., Колісніченко О.В. Контроль та вимірювання параметрів рідин і газів: конспект лекцій - Суми: СумДУ, 2009. - 199 с.
2. Дорожовець М.М., Бурдега М. Томографічний метод вимірювання просторового розподілу температури за результатами вимірювань опору лінійних резистивних перетворювачів.// Вимірювальна техніка та метрологія – 2015 - № 76 – С.66-73.
3. Акустичні методи вимірювання температури [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://lifeprog.ru/view_msinv.php?id=232
4. Ліхновський І.С. Ультразвуковий багатозонний вимірювач температури: дисертація кандидати технічних наук – Львів,1997.
5. Луцик Я., Буняк Л., Стадник Б. Застосування ультразвукових сенсорів. - Львів: СП "БаК", 1998. - 232 с.
6. Endress+Hauser – Багатозонні датчики температури [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.ru.endress.com/ru/Tailor-made-field-instrumentation/Temperature-measurement-thermometerstransmitters/mnogozonnye-datchiki
7. What's fuelling demand for IR grid sensors? [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.electronicspecifier.com/sensors/what-s-fuelling-demand-for-ir-grid-sensors
8. MLX90640 32x24 IR array – Short form Datasheet – Revision 3 - November 4, 2016
9. Дорожовець М. М. Томографічні вимірювання просторового розподілу фізичних величин на прикладах електричної та акустичної томографії: дисертація доктора технічних наук. – Львів, 2001. – С. 38–51.
10. Дорожовець М. М., Петровська І. Р. Дослідження методичних хиб вимірювання в електричній томографії // Вимірювальна техніка та метрологія. -2007. - № 67. - С. 13-18.

11. Засоби та методи вимірювання неелектричних величин: підручник/Є. С. Поліщук, М. М. Дорожовець, Б. І. Стадник, О. В. Івахів, Т. Г. Бойко, О. Ковальчик; за ред. Є. С. Поліщука. – Львів: Бескид Біт, 2008. – 618 с. Криксунов Л.З. Довідник з основ інфрачервоної техніки. - М: Рад. радіо, 1978. Поскач А.А., Чубаров Є.П. Оптико-електронні системи вимірювання температури. - М.: Вища школа, 1988.
12. Єльяшевич М. А. Закон випромінювання Планка // Фізична енциклопедія. - М.: ВРЕ, 1992. - Т. 3. - С. 625-626.
13. Поскач О.О., Чаріхов Л.А. Похибки пірометрів випромінювання та деякі шляхи їх зниження. – Методи та засоби оптичної пірометрії. М: Наука, 1983.
14. Де Вітт, Наттер. Теорія і практика радіаційної термометрії. - Нью-Йорк: John Wiley & Son, 1988.
15. А. Д. Власов. Одиниці величин у науці та техніці: Довідник / А. Д. Власов, Б. П. Мурін. - М.: Вища школа, 1990. - 176 с.
16. Зісман Г.А. Курс загальної фізики. - М: Наука, 1972, 366 с.
17. Міжнародна система одиниць (CI) / Bureau International des Poids et Mesures. — Париж, 2006. — С. 114.
18. ГОСТ 8.417-2002. Державна система забезпечення єдності вимірів. Одиниці величин.
19. Бёккер Ю. Спектроскопия = Spektroskopie / Пер. с нем. Л. Н. Казанцевой, под ред. А. А. Пупышева, М. В. Поляковой. — М. : Техносфера, 2009. — 528 с.
20. Енциклопедія спектроскопії та спектрометрії / Ліндон Дж. — 2-е вид. — Академічна преса, 2010. — 3312 с..
21. Фрайден Дж. Сучасні датчики. Довідник - М.: Техносфера, 2006. - 592 с.
22. Дж. Кей, Т. Лебі . Таблиці фізичних та хімічних постійних. М.: Атоміздат , 1968.