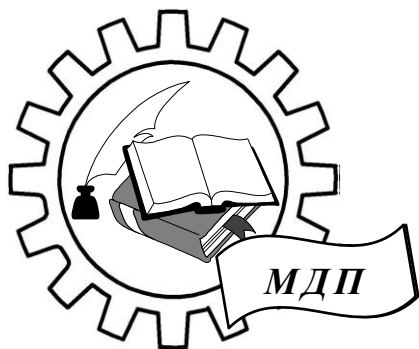


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ ТА КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ



Кафедра обладнання переробних і
харчових виробництв імені професора
Ф.Ю. Ялпачика

МЕТОДИ І ЗАСОБИ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУР

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи
з дисципліни "Методи дослідження процесів"

Спеціальність 133 "Галузеве машинобудування"
ОС Магістр

**Мелітополь
2018**

Методи і засоби вимірювання температур. Методичні вказівки для студентів, що навчаються за спеціальністю 133 "Галузеве машинобудування" ОС Магістр - Таврійський державний агротехнологічний університет, 2018 - 20 с.

Розробники: к.т.н., доцент кафедри ОПХВ ім Ф. Ю. Ялпачика
Самойчук К.О.
асистент кафедри ОПХВ ім Ф. Ю. Ялпачика
Ковальов О.О.

Рецензент: к.т.н., доц. каф.
Електротехнології і теплові
процеси

Вороновський І. Б.

Розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри ОПХВ
Протокол № від 2018 р.

Методичні вказівки затверджені методичною радою факультету ІКТ
Протокол № від 2018 р

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ

Тема: Методи вимірювання температур.

Мета: розширити і поглибити знання студентів із сутності, видам, області застосування і методикою вимірювання температур.

Час: 2 год.

1.1 Порядок виконання роботи

- представити викладачу виконане завдання для самопідготовки.

Умову завдання наведено у п. 1.2;

- проробити практичну частину;
- виконати домашнє завдання.

1.2 Завдання для самопідготовки

У процесі підготовки до заняття студент в обов'язковому порядку повинен виконати наступні завдання:

- а) вивчити конспект лекцій;
- б) опрацювати рекомендовану літературу;
- в) занести у зошит для практичних робіт такі матеріали:

- 1) Що таке температура?

- 2) Які прилади та методи вимірювання температур Вам відомі?

- 3) Наведіть зв'язок між тиском газів, електричним опором, довжиною та температурою?

1.3 Практична частина

Температурою називається статистична величина, що характеризує тепловий стан тіла і пропорційна середній кінематичній енергії молекул тіла. За одиницю температури береться Кельвін (К).

З того, що температура – це кінетична енергія молекул, ясно, що найприродніше вимірювати її в енергетичних одиницях (тобто в системі СІ в джоулях). Проте вимір температури почався задовго до створення молекулярно-кінетичної теорії, тому практичні шкали вимірюють температуру в умовних одиницях – градусах.

Поняття абсолютної температури було введене У. Томсоном (Кельвіном), у зв'язку з чим шкалу абсолютної температури називають шкалою Кельвіна або термодинамічною температурною шкалою. Одиниця абсолютної температури – Кельвін (К).

Абсолютна шкала температури називається так, тому що міра основного стану нижньої межі температури – абсолютний нуль, тобто найбільш низька можлива температура, при якій в принципі неможливо

випустити з речовини теплову енергію.

Абсолютний нуль визначений як 0 K, що рівне $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ (точно).

Шкала температур Кельвіна – це шкала, в якій початок відліку ведеться від абсолютного нуля.

Використовувані в побуті температурні шкали – як Цельсія, так і Фаренгейта (використовувана, в основному, в США), – не є абсолютними і тому незручні при проведенні експериментів в умовах, коли температура опускається нижче за точку замерзання води, через що температуру доводиться виражати негативним числом. Для таких випадків були введені абсолютні шкали температур.

Одна з них називається шкалою Ранкіна, а інша – абсолютною термодинамічною шкалою (шкалою Кельвіна); температури по них вимірюються, відповідно, в градусах Ранкіна ($^{\circ}\text{Ra}$) і Кельвінах (K). Обидві шкали починаються при температурі абсолютного нуля. Розрізняються вони тим, що ціна одного ділення за шкалою Кельвіна дорівнює ціні ділення шкали Цельсія, а ціна ділення шкали Ранкіна еквівалентна ціні ділення термометрів з шкалою Фаренгейта. Температурі замерзання води при стандартному атмосферному тиску відповідають 273,15 K, $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, 32 F.

У техніці, медицині, метеорології і в побуті використовується шкала Цельсія, в якій температура потрійної точки води дорівнює $0,008\text{ }^{\circ}\text{C}$, і, отже, точка замерзання води при тиску в 1 атм дорівнює $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Нині шкалу Цельсія визначають через шкалу Кельвіна: ціна одного ділення в шкалі Цельсія дорівнює ціні ділення шкали Кельвіна, $t(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273,15$. Таким чином, точка кипіння води, спочатку вибрана Цельсієм, рівна $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, втратила своє значення, і за сучасними оцінками температура кипіння води при нормальному атмосферному тиску складає близько $99,975\text{ }^{\circ}\text{C}$. Шкала Цельсія практично дуже зручна, оскільки вода дуже поширена на нашій планеті і на ній засновано наше життя. Нуль Цельсія – особлива точка для метеорології, оскільки пов'язана із замерзанням атмосферної води. Шкала запропонована Андерсом Цельсієм в 1742 р.

У Англії і, особливо, в США використовується шкала Фаренгейта. Нуль градусів Цельсія – це 32 градуси Фаренгейта, а градус Фаренгейта дорівнює $9/5$ градуса Цельсія (таблиця 1).

Нині прийнято наступне визначення шкали Фаренгейта: це температурна шкала, 1 градус якої ($1\text{ }^{\circ}\text{F}$) дорівнює $1/180$ різниці температур кипіння води і танення льоду при атмосферному тиску, а точка танення льоду має температуру $+32\text{ }^{\circ}\text{F}$. Температура за шкалою Фаренгейта пов'язана з температурою за шкалою Цельсія ($t\text{ }^{\circ}\text{C}$) співвідношенням $t\text{ }^{\circ}\text{C} = 5/9 (t\text{ }^{\circ}\text{F} - 32)$, $t\text{ }^{\circ}\text{F} = 9/5 t\text{ }^{\circ}\text{C} + 32$. Запропонована Г. Фаренгейтом в 1724.

Таблиця 1 – Переходи з різних шкал

Перерахунок температури між основними шкалами			
у\з	Кельвін	Цельсій	Фаренгейт
Кельвін (K)	= K	= C + 273	= (F + 459) / 1,8
Цельсій ($^{\circ}\text{C}$)	= K - 273	= C	= (F - 32) / 1,8

Фаренгейт (°F)	= K · 1,8 – 459	= C · 1,8 + 32	= F
----------------	-----------------	----------------	-----

Таблиця 2 – Порівняння температурних шкал

Опис	Кельвін	Цельсій	Фаренгейт	Ранкин	Делиль	Ньютон	Реомюр	Ремер
Абсолютний нуль	0	–273.15	–459.67	0	559.725	–90.14	–218.52	–135.90
Температура танення суміші Фаренгейта (сіль і лід в рівних кількостях)	255.37	–17.78	0	459.67	176.67	–5.87	–14.22	–1.83
Температура замерзання води (нормальні умови)	273.15	0	32	491.67	150	0	0	7.5
Середня температура людського тіла ¹	310.0	36.6	98.2	557.9	94.5	12.21	29.6	26.925
Температура кипіння води (нормальні умови)	373.15	100	212	671.67	0	33	80	60
Плавлення титану	1941	1668	3034	3494	–2352	550	1334	883
Поверхня Сонця	5800	5526	9980	10440	–8140	1823	4421	2909

Вибір методу виміру температури залежить від діапазону вимірюваних температур, необхідної точності, швидкодії і допустимої величини вхідного теплового опору вимірювального пристрою, тобто його вхідній теплоємності.

Для виміру температури використовуються найрізноманітніші методи, які засновані:

- на тепловому розширенні рідких, газоподібних і твердих тіл (термомеханічний ефект);
- на зміні тиску усередині замкнутого об'єму при зміні температури (манометричні);
- на зміні електричного опору тіл при зміні температури (терморезистори);
- на термоелектричному ефекті;
- на використанні електромагнітного випромінювання нагрітих тел.

Усі прилади для виміру температури умовно можна розділити на дві великі групи:

- контактні, тобто датчик температури безпосередньо контактує з вимірюваним середовищем - найбільш широко вживані в промисловості;
- безконтактні - які застосовуються для виміру температури, там де прямий контакт з вимірюваним середовищем неможливий з тих або інших причин.

Рідинні термометри засновані на принципі зміни об'єму рідини, яка залита в термометр (звичайно це спирт або ртуть), при зміні температури довкілля.

У зв'язку із заборонаю застосування ртуті у багатьох областях діяльності ведеться пошук альтернативних наповнень для побутових термометрів. Наприклад, такою заміною може стати сплав галинстан.

Механічні термометри діють за тим же принципом, що і рідинні, але в якості датчика зазвичай використовується металева спіраль або стрічка з біметала (рисунок 1).



Рисунок 1 - Механічний термометр

Електричні термометри. Принцип роботи електричних термометрів заснований на зміні опору провідника при зміні температури довкілля (рисунок 2, 3).



Рисунок 2 - Медичний електричний термометр

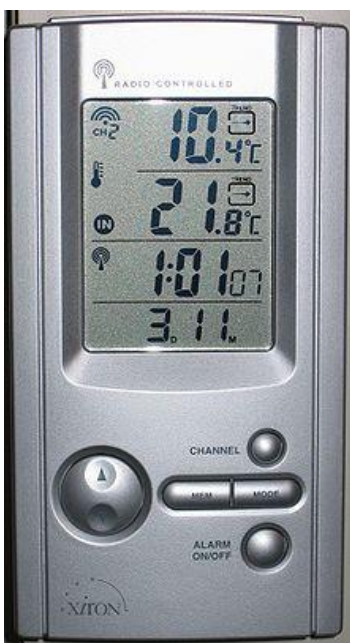


Рисунок 3 - Домашня метеостанція

Електричні термометри ширшого діапазону засновані на термопарах (контакт між металами з різною електронегативністю створює контактну різницю потенціалів, залежну від температури).

Найбільш точними і стабільними в часі являються термометри опору на основі платинового дроту або платинового наплення на кераміку. Найбільше поширення отримали РТ100 (опір при 0 °С – 100Ω) РТ1000 (ІЕС751). Залежність від температури майже лінійна. Температурний діапазон – 200 – +850 °С.

Термопара (термоелектричний перетворювач температури) – термоелемент, вживаний у вимірювальних і перетворюючих пристроях, а також в системах автоматизації.

Міжнародний стандарт на термопари дає наступне визначення: Термопара – пара провідників з різних матеріалів, сполучених на одному кінці і формуючих частину пристрою, що використовує термоелектричний ефект для виміру температури.

Для виміру різниці температур зон, ні в одній з яких не знаходиться вторинний перетворювач (вимірник термо-ЕДС), зручно використовувати диференціальну термопару: дві однакові термопари, сполучених один назустріч одному (рисунок 4). Кожна з них вимірює перепад температур між своїм робочим спаєм і умовним спаєм, утвореним кінцями термопар, підключеними до клем вторинного перетворювача, але вторинний перетворювач вимірює різницю їх сигналів, таким чином, дві термопари разом вимірюють перепад температур між своїми робочими спаями.

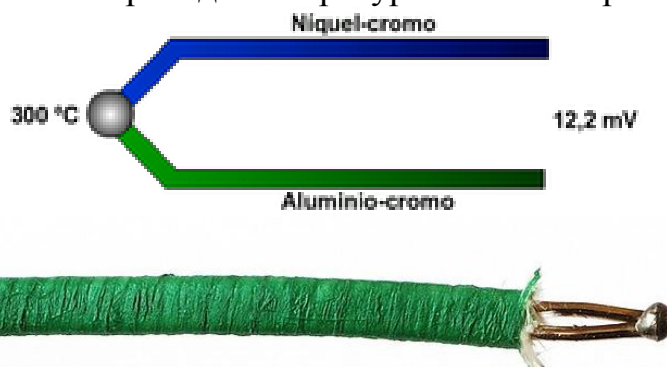


Рисунок 4 - Схема термопари. (При температурі спаю ніхрому і алюміній-нікеля рівної 300 °С термо-едс складає 12,2 мВ)

Принцип дії заснований на ефекті Зеебека або, інакше, термоелектричному ефекті. Коли кінці провідника знаходяться при різних температурах, між ними виникає різниця потенціалів, пропорційна різниці температур. Коефіцієнт пропорційності називають коефіцієнтом термо-ЕДС. У різних металів коефіцієнт термо-ЕДС різний і, відповідно, різниця потенціалів, що виникає між кінцями різних провідників, буде різна. Поміщаючи спай з металів з відмінними коефіцієнтами термо-ЕДС в середу з температурою T_1 , ми отримаємо напругу між протилежними контактами, що знаходяться при іншій температурі T_2 , яке буде пропорційне різниці температур T_1 і T_2 .

Термопари застосовуються для виміру температури різних типів об'єктів і середовищ, а також в автоматизованих системах управління і

контролю. Термопари з вольфрам-ренієвого сплаву є самими високотемпературними контактними датчиками температури. Такі термопари незамінні в металургії для контролю температури розплавлених металів.

Переваги термопар:

- висока точність виміру значень температури (до $\pm 0,01$ °C);
- великий температурний діапазон виміру : від $- 200$ °C до 2500 °C;
- простота;
- дешевизна;
- надійність.

Недоліки:

– для отримання високої точності виміру температури (до $\pm 0,01$ °C) потрібно індивідуальне градуювання термопар;

– на результат впливає температура вільних кінців, на яку необхідно вносити поправку. У сучасних конструкціях вимірників на основі термопар використовується вимір температури блоку холодних спайів за допомогою вбудованого термістора або напівпровідникового сенсора і автоматичне введення поправки до виміряної ТЕДС;

– ефект Пельтье (у момент зняття свідчень, необхідно виключити протікання струму через термопару, оскільки струм, що протікає через неї, охолоджує гарячий спай і розігріває холодний);

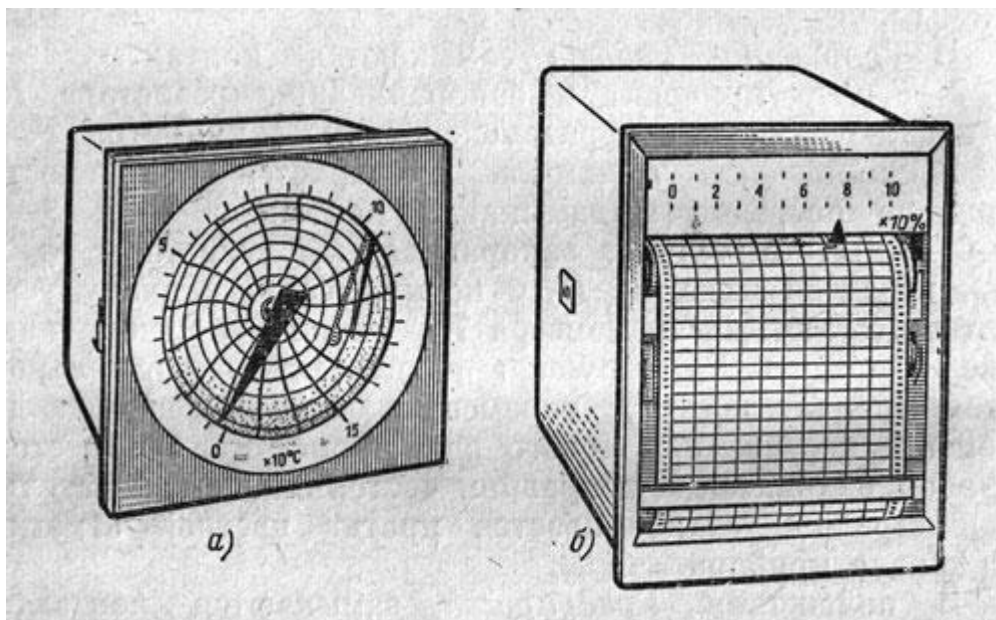
– залежність ТЕДС від температури істотно нелінійна. Це створює труднощі при розробці вторинних перетворювачів сигналу;

– виникнення термоелектричної неоднорідності в результаті різких перепадів температур, механічної напруги, корозії і хімічних процесів в провідниках призводить до зміни градуювальної характеристики і погрешностей до 5 K;

– на великій довжині термопарних і подовжувальних дротів може виникати ефект «антени» для існуючих електромагнітних полів.

Потенціометри. Вимір температури термоелектричним термометром в комплекті з мілівольтметром у більшості випадків не забезпечує достатньої точності із-за наявності ряду погрешностей. Клас точності такого приладу $1,5$ - $2,5$. Головною причиною цього є вплив змін температури навколишнього повітря на опори мілівольтметра і зовнішньої сполучної лінії. Цей вплив відсутній при вимірі термо-ЕДС нульовим (компенсаційним) методом, при якому замість мілівольтметра застосовується потенціометр. Крім того, застосування потенціометра дозволяє легко здійснити автоматичне введення поправки на зміну температури вільних кінців термометра.

Основною особливістю потенціометра є те, що в нім термо-ЕДС, що розвивається термоелектричним термометром урівноважується (компенсується) рівним їй за величиною, але зворотною по знаку напругою від джерела струму, розташованого в приладі, яке потім вимірюється з великою точністю.



а) з самописцем КСПЗ; б) з самописцем КСП2.
Рисунок 5 – Потенціометр

Загальний вигляд автоматичного потенціометра типу КСПЗ показаний на рисунку 5, а. Прилад має прямокутний сталевий корпус, забезпечений заскленою кришкою з круглим вікном, пристосований для втопленого монтажу. Для зручності зборки і обслуговування приладу усередині нього розташований плоский поворотний кронштейн, на якому закріплені реохорд, реверсивний і синхронний мікродвигуни, планшайба з діаграмним диском, вказівна стрілка, важіль з пером і перемикач роду робіт. На задній стінці усередині корпусу встановлені електронний підсилювач, джерело стабілізованого живлення, блок з елементами вимірювальної схеми і панелі для внутрішніх і зовнішніх з'єднань. Габарити потенціометра 320x320xх380 мм і маса 15 кг.

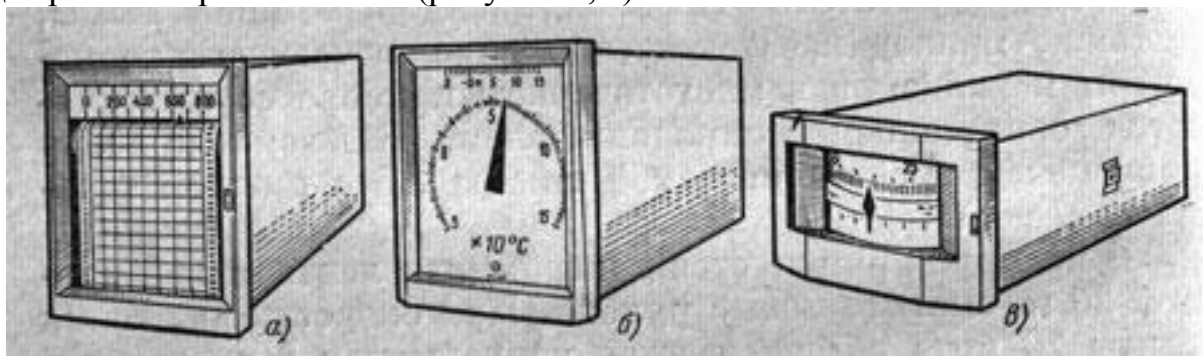
Автоматичний малогабаритний потенціометр типу КСП2 - показуючий і самописний прилад з довжиною лінійної шкали і шириною діаграмної стрічки 160 мм (рисунку 5, б). Прилад випускається на 1, 3, 6 або 12 точок виміру температури. Основна погрішність показань приладу $\pm 0,5$ записів $\pm 1\%$. Варіація свідчень не перевищує половини основної погрішності. Час пробігу кареткою усієї шкали 2,5 або 10 с. Швидкість руху діаграмної стрічки може складати 20, 40, 60, 120, 240 або 600, 1200, 2400 мм/ч.

Вимірювальна схема приладу живиться від компактного джерела стабілізованого живлення з вихідною напругою 2 В і номінальним струмом 5 мА. Для посилення напруги розбалансу прилад забезпечений напівпровідниковим підсилювачем, що управляє роботою реверсивного мікродвигуна. Переміщення діаграмної стрічки, а також привід що друкує і перемикального термометри механізмів у багатоточковому приладі здійснюються синхронним мікродвигуном. У схемі приладу з часом пробігу кареткою шкали є тахометричний міст.

У приладі застосовується діаграмна стрічка загальною довжиною 20 м, змотувана з рулону. При швидкості руху стрічки 20 мм/ч забезпечується безперервний запис свідчень впродовж 40 діб. Усі елементи електричної схеми потенціометра розташовані на висувному кронштейні з телескопічними направляючими. Міжблочні з'єднання в приладі виконані в основному друкарським монтажем. Потенціометр може мати вбудований сигналізуючий пристрій з межами установки завдання 5 - 95% діапазону свідчень і максимальним струмом через сигнальні контакти 1 А. Погрішність спрацьовування сигналізуючого пристрою $\pm 1\%$. В іншому прилад схожий по своєму пристрою з автоматичним потенціометром типу КСП4.

Потенціометр типу КСП2 живиться від мережі змінного струму напругою 220 В, частотою 50 Гц. Споживана приладом потужність 30 ВА. Зміна напруги живлення на $\pm 10\%$ від номінального не впливає на показання приладу. Значення температури навколишнього повітря, що допускаються, 5–50°C і відносній вологості 30–80%. Зміна температури навколишнього повітря від 20°C у вказаних межах вносить на кожні 10°C додаткову погрішність $\pm 0,2\%$. Габарити потенціометра 240x320x450 мм і маса 17 кг

Автоматичний мініатюрний потенціометр типу КСП1 - одноточечний показуючий і самописний прилад з довжиною лінійної шкали і шириною діаграмної стрічки 100 мм (рисунок 6, а).



а) з самописцем КСП1; б) з плоскою шкалою КПП1; в) з обертовим циферблатом КВП1.

Рисунок 6 – Потенціометр

Показання його записуються пристроєм, що складається з пера, закріпленого на рухливій каретці, і нерухомої чорнильниці, розташованої на висувному кронштейні і сполученою з пером гнучкою капілярною трубкою. Основна погрішність свідчень і запису приладу $\pm 1\%$. Варіація свідчень не перевищує половини основної погрішності. Час пробігу кареткою усієї шкали 2,5 або 5 с. Швидкість переміщення діаграмної стрічки, що змотується з рулону, може складати 10, 20, 40, 60 або 120 мм/ч.

Прилад забезпечений дисковим реохордом з кутом повороту струмоз'ємного движка 325°. Вимірювальна схема живиться від джерела стабілізованого живлення. Напруга розбалансу посилюється напівпровідниковим підсилювачем. Переміщення рухливої каретки робиться реверсивним, а привід діаграмної стрічки, що змотується з рулону, -

синхронним мікродвигуном. У схему приладу включений тахометричний міст. Усі елементи і блоки розташовані на висувному кронштейні з телескопічними направляючими.

Потенціометр може мати вбудований сигналізуючий пристрій, що складається з двох мікроперемикачів, що сидять на окремих обоймах разом із задаючими сигнальними стрілками. Мікроперемикачі управляються за допомогою кулачків, що повертаються рухливою кареткою досягши вимірюваною температурою заданих значень. Межі установки завдання 10 - 90% діапазону свідчень. Погрішність спрацьовування сигналізуючого пристрою $\pm 1,5\%$.

Прилад живиться від мережі змінного струму напругою 220 В, частотою 50 Гц. Відхилення напруги живлення на $+5 \div - 15\%$ від номінального викликає додаткову погрішність не більше $\pm 0,25\%$. Відхилення температури навколишнього повітря від 20°C в межах $5 - 50^{\circ}\text{C}$ вносить на кожні 10°C додаткову погрішність $\pm 0,15\%$. Припустимі межі коливання відносної вологості 30 -80%. Габарити приладу 160x200x 500 мм і маса 12 кг

Автоматичний мініатюрний потенціометр типу КПП1 (рисунок 6, б) є одноточечним показуючим приладом з плоскою круговою шкалою завдовжки (по дузі) 300 мм. Основна погрішність приладу $\pm 0,5\%$. Варіація свідчень не перевищує половини основної погрішності. Час пробігу вказівною стрілкою усієї шкали 2,5 або 5 с. Розташовані в приладі реохорд, джерело стабілізованого живлення, напівпровідниковий підсилювач і реверсивний мікродвигун - ті ж, що і у потенціометра типу КСП1. У схему приладу включений тахометричний міст. Усі основні елементи приладу закріплені на висувному кронштейні. Потенціометр може мати вбудований сигналізуючий пристрій з межами установки завдання 10 - 90% діапазону свідчень. Навантаження, що допускається, на сигнальні контакти 50 ВА. Погрішність спрацьовування сигналізуючого пристрою $\pm 1,5\%$.

Потенціометр живиться від мережі змінного струму напругою 220 В, частотою 50 Гц. Споживана потужність 12 ВА. Зміна напруги живлення на $+5 \div 15\%$ номінального викликає додаткову погрішність не більше $\pm 0,25\%$. Припустимі межі коливань температури навколишнього повітря $5 - 50^{\circ}\text{C}$ і відносній вологості 30 -80%. Зміна температури повітря в межах $20 - 50^{\circ}\text{C}$ вносить на кожні 10°C додаткову погрішність $\pm 0,1\%$. Габарити потенціометра 160x200x500 мм і маса 12 кг.

Автоматичний мініатюрний потенціометр типу КВП1 - показуючий прилад з циліндричним циферблатом (шкалою), що обертається, і нерухомим показчиком (рисунок 6, в). Довжина шкали приладу (по дузі) 500 мм, що забезпечує велику точність відліку свідчень. Потенціометр випускається на 1, 6 або 12 точок виміру температури. Багатоточкові прилади забезпечені вбудованим в нижню частину корпусу кнопковим перемикачем термометрів. Основна погрішність приладу $\pm 0,5\%$. Варіація свідчень не перевищує половини основної погрішності. Час проходження шкали відносно показчика 2,5 або 10 с.

Вимірювальна схема потенціометра живиться від джерела стабілізованого живлення. Для посилення напруги розбалансу служить напівпровідниковий підсилювач. У схему потенціометра включений тахометричний міст. Для зручності виготовлення і обслуговування прилад забезпечений висувним кронштейном. Одноточечний потенціометр може мати вбудований сигналізуючий пристрій з погрішністю спрацьовування $\pm 1\%$ навантаження, що допускається, на сигнальні контакти 50 ВА.

Потенціометр живиться від мережі змінного струму напругою 220 В, частотою 50 Гц. Споживана приладом потужність 20 ВА. Температура навколишнього повітря, що допускається, 5 -50°C і відносна вологість 30 - 80%. Зміна температури повітря на кожні 10°C від 20°C у вказаних межах викликає додаткову погрішність 0,2 -0,3%. Габарити приладу 240x160x535 мм і маса 15 кг.

Логометр – вимірювальний прилад, обртвий момент якого залежить від відношення двох струмів, що протікають по двох рухливих котушках.

Логометри бувають різних типів. Дуже широко поширений Л-64. Він дозволяє вимірювати температуру у виробничих і технологічних процесах. Виміри проводяться за трипровідною схемою, що забезпечує високу точність вимірів. Сама конструкція і внутрішній устрій логометра Л-64 простий і дуже надійний. Ця якість приладу забезпечує його працездатність впродовж десятків років. На території колишнього Радянського Союзу логометри досі застосовуються на виробництві. Джерелом живлення служить мережевий зовнішній блок живлення СВ-4. Він забезпечує на виході постійну напругу 4 вольти. Ця напруга використовується для живлення вимірювального моста приладу.

Оптичні термометри дозволяють реєструвати температуру завдяки зміні рівня світимості, спектру і інших параметрів при зміні температури. Наприклад, інфрачервоні вимірники температури тіла.

Найточнішим практичним термометром є платиновий термометр опору[3]. Розроблені новітні методи виміру температури, засновані на вимірі параметрів лазерного випромінювання.

Термометр опору – датчик для виміру температури, опір чутливого елемента якого залежить від температури. Може бути виконаний з металевого або напівпровідникового матеріалу. У останньому випадку називається термістором.

Металевий термометр опору є резистором, що виконаний з металевого дроту або плівки і має відому залежність електричного опору від температури. Найбільш поширений тип термометрів опору – платинові термометри. Це пояснюється тим, що платина має високий температурний коефіцієнт опору і високу стійкість до окислення. Еталонні термометри виготовляються з платини високої чистоти з температурним коефіцієнтом не менше 0,003925. В якості робочих засобів вимірів застосовуються також мідні і нікелеві термометри. Діючий стандарт на технічні вимоги до робочих термометрів опору ГОСТ Р 8.625-2006 (Термометри опору з платини, міді і нікелю. Загальні технічні вимоги і методи випробувань). У стандарті

приведені діапазони, класи допуску, таблиці НСХ і стандартні залежності опір-температура. Стандарт відповідає міжнародному стандарту МЭК 60751 (2008). У стандарті уперше відмовилися від нормування конкретних номінальних опорів. Опір виготовленого термометра може бути будь-яким. Промислові платинові термометри опору у більшості випадків використовуються із стандартною залежністю опір-температура (НСХ), що обумовлює погрішність не краще $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (клас АА при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$). Термометри опору на основі напиленої на підкладку плівки відрізняються підвищеною віброміцністю, але меншим діапазоном температур. Максимальний діапазон, в якому встановлені класи допуску платинових термометрів для дротяних чутливих елементів складає $660\text{ }^{\circ}\text{C}$ (клас С), для плівкових $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ (клас С).

Термістор – напівпровідниковий резистор, електричний опір якого залежить від температури. Для термістора характерні великий температурний коефіцієнт опору, простота пристрою, здатність працювати в різних кліматичних умовах при значних механічних навантаженнях, стабільність характеристик в часі.

Переваги термометрів опору:

- висока точність вимірів (зазвичай краще $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$), може доходити до $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- можливість виключення впливу зміни опору ліній зв'язку на результат виміру при використанні 3-х або 4-х дротяної схеми вимірів;
- практично лінійна характеристика.

Недоліки термометрів опору:

- малий діапазон вимірів (в порівнянні з термопарами);
- більш коштовний (в порівнянні з термопарами)), якщо це платиновий термометр опору типу ТСП;
- потрібно додаткове джерело живлення для визначення температури.

Газовий термометр – прилад для виміру температури, заснований на законі Шарля.

У кінці XVIII ст. Шарль встановив, що однакове нагрівання будь-якого газу приводить до однакового підвищення тиску, якщо при цьому об'єм залишається постійним. При зміні температури за шкалою Цельсія залежність тиску газу при постійному об'ємі виражається лінійним законом. А звідси витікає, що тиск газу (при $V=\text{const}$) можна прийняти як кількісну міру температури. З'єднавши посудину, в якій знаходиться газ, з манометром і проградувавши прилад, можна вимірювати температуру за свідченнями манометра.

У широких межах змін концентрацій газів і температур і малих тисках температурний коефіцієнт тиску різних газів приблизно однаковий, тому спосіб виміру температури за допомогою газового термометра виявляється малозалежним від властивостей конкретної речовини, використовуваний в термометрі в якості робочого тіла. Найбільш точні результати виходять, якщо в якості робочого тіла використовувати водень або гелій.

Пірометр – прилад для безконтактного виміру температури тел. Принцип дії заснований на вимірі потужності теплового випромінювання

об'єкту виміру переважно в діапазонах інфрачервоного випромінювання і видимого світла (рисунок 7).



Рисунок 7 – Переносний пірометр інфрачервоного випромінювання

Стационарний пірометр інфрачервоного випромінювання (пірометр) застосовують для дистанційного визначення температури об'єктів в промисловості, побуті, сфері ЖКГ, на підприємствах, де велике значення надається контролю температур на різних технологічних етапах виробництва (сталеливарна, харчова і переробна промисловість, нафтопереробна галузь). Пірометри можуть виступати в ролі засобу безпечного дистанційного виміру температур розжарених об'єктів, що робить їх незамінними для забезпечення належного контролю у випадках, коли фізична взаємодія з контрольованим об'єктом неможлива із-за високих температур (рисунок 8). Їх можна застосовувати в якості теплолокаторов (вдосконалені моделі), для визначення ділянок критичних температур в різних виробничих сферах.



Рисунок 8 – Переносний пірометр інфрачервоного випромінювання

Один з перших пірометрів винайшов Пітер ван Мушенбрук. Спочатку термін використовувався стосовно приладів, призначених для виміру температури візуально, по яскравості і кольору сильно нагрітого (розжареного) об'єкту. Нині сенс дещо розширений, зокрема, деякі типи пірометрів (такі прилади правильніше називати інфрачервоні радіометри) вимірюють досить низькі температури (0 °C і навіть нижче).

Розвиток сучасної пірометрії і портативних пірометрів почався з середини 60-х років минулого століття і триває досі. Саме в цей час були зроблені найважливіші фізичні відкриття, що дозволили почати виробництво промислових пірометрів з високими споживчими характеристиками і малими габаритними розмірами. Новий принцип побудови порівняльних паралелей, коли висновок про температуру тіла робився на основі даних інфрачервоного приймача, що визначає кількість випромінюваної тілом теплової енергії, дозволив істотно розширити межі виміру температур твердих і рідких тел.

Пірометри можна розділити за декількома основними ознаками:

- Яскравісні. Дозволяють візуально визначати, як правило, без використання спеціальних пристроїв, температуру нагрітого тіла, шляхом порівняння його кольору з кольором еталонної нитки.

- Радіаційні. Оцінюють температуру за допомогою перерахованого показника потужності теплового випромінювання. Якщо пірометр вимірює в широкій смузі спектрального випромінювання, то такий пірометр називають пірометром повного випромінювання.

- Колірні (інші назви: мультиспектральні, спектрального відношення) – дозволяють робити висновок про температуру об'єкту, ґрунтуючись на результатах порівняння його теплового випромінювання в різних спектрах.

Температурний діапазон.

- Низькотемпературні. Мають здатність показувати температури об'єктів, що мають навіть негативні значення цього параметра.

- Високотемпературні. Оцінюють лише температуру сильно нагрітих тіл, коли визначення «на око» не представляється можливим. Зазвичай мають сильне зміщення на користь «верхньої» межі виміру.

Виконання.

- Переносні. Зручні в експлуатації в умовах, коли потрібна висока точність вимірів, в сукупності з хорошими рухливими властивостями, наприклад для оцінки температури важкодоступних ділянок трубопроводів. Зазвичай забезпечені невеликим дисплеєм, що відображає графічну або текстово-цифрову інформацію.

- Стаціонарні. Призначені для точнішої оцінки температури об'єктів. Використовуються в основному у великій промисловості, для безперервного контролю технологічного процесу виробництва розплавів металів і пластиків.

Візуалізація величин.

- Текстово-цифровий метод. Вимірювана температура виражається в градусах на цифровому дисплеї. Попутно можна бачити додаткову інформацію.

- Графічний метод. Дозволяє бачити спостережуваний об'єкт в спектральному розкладанні ділянок низьких, середніх і високих температур, виділених різними кольорами.

Незалежно від класифікації, пірометри можуть забезпечуватися додатковими джерелами живлення, а також засобами передачі інформації і

зв'язку з комп'ютером або спеціалізованими пристроями (зазвичай через шину RS - 232).

Найважливішими характеристиками пірометра, що визначають точність виміру температури являються оптичний дозвіл і налаштування міри чорноти об'єкту.

Іноді оптичний дозвіл називають показником візування. Цей показник розраховується як відношення діаметру плями (круга) на поверхні, випромінювання з якого реєструється пірометром до відстані до об'єкту. Щоб правильно вибрати прилад, необхідно знати сферу його застосування. Якщо необхідно проводити виміри температури з невеликої відстані, то краще вибрати термометр з невеликим дозволом, наприклад, 4:1. Якщо температуру необхідно вимірювати з відстані в декілька метрів, то рекомендується вибирати пірометр з великим дозволом, щоб в поле зору не потрапили сторонні предмети. У багатьох пірометрів є лазерний цілепоказчик для точного наведення на об'єкт.

Ступінь чорноти (чи коефіцієнт випромінювання) характеризує властивості поверхні об'єкту, температуру якого вимірює пірометр. Цей показник визначається як відношення енергії, випромінюваною цією поверхнею при певній температурі до енергії випромінювання абсолютно чорного тіла при тій же температурі. Він може набувати значень від 0,1 до близьких до 1. Неправильний вибір коефіцієнта випромінювання – основне джерело погрішності для усіх пірометричних методів виміру температури. На коефіцієнт випромінювання сильно впливає окисленість поверхні металів. Так, якщо для сталі окисленої коефіцієнт складає приблизно 0,85, то для полірованої сталі він знижується до 0,075.

Застосування пірометрів.

- Теплоенергетика – для швидкого і точного контролю температури на ділянках не доступних або мало доступних для іншого виду виміру.

- Електроенергетика – контроль і пожежна безпека, експлуатація об'єктів (залізничний транспорт – контроль температури букс і відповідальних вузлів вантажних і пасажирських вагонів).

- Лабораторні дослідження – при проведенні досліджень активних речовин в активних середовищах, а також в тих випадках, при яких контактний метод порушує чистоту експерименту (наприклад, тіло настільки мало що при вимірі контактним методом втратить істотну частину теплоти, або просто занадто крихке для такого типу виміру). Застосовується в космонавтиці (контроль, досліди).

- Будівництво – пірометри застосовують для визначення тепловтрат у будівлях житлового і промислового призначення, на теплотрасах, для ефективного знаходження проривів теплоізоляційної оболонки.

- Побутове застосування – вимір температури тіла, їжі при приготуванні, і багато що інше.

– Окрема велика сфера застосування піросенсорів - датчики руху в системах охорони будівель. Датчики реагують на зміну інфрачервоного випромінювання в приміщенні.

Таблиця 3 – Практичні межі застосування найбільш поширених пристроїв для промислових вимірів температур.

Термометрична властивість	Найменування пристрою	Межі інтервалів вимірювання	
		нижній	верхній
Теплове розширення	Рідинні скляні термометри	-190	600
Зміна тиску	Манометричні термометри	-160	600
Зміна електричного опору	Електричні термометри опору. Напівпровідникові термометри (термістори, терморезистори)	-90	180
Термоелектричні ефекти (термо-ЕДС)	Термоелектричні термометри Термопари/стандартизовані Термоелектричні термометри Термопари/спеціальні	1300	2500
Теплове випромінювання	Оптичні пірометри	700	6000
	Радіаційні пірометри	20	3000
	Фотоелектричні пірометри	600	4000
	Колірні пірометри	1400	2800

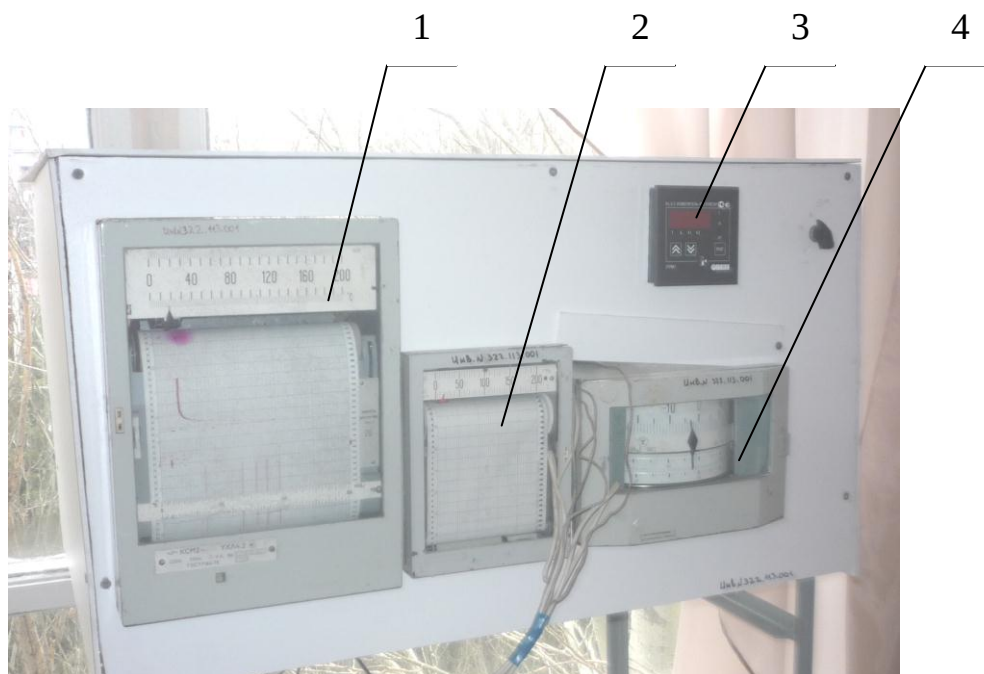
1.4 Порядок виконання лабораторної частини

1. Виміряти температуру вказаних викладачем продуктів та середовищ приладами стенда вимірювання температур (рисунок 9) і результати занести в таблицю 4.

Таблиця 4 – Результати вимірювання температур.

№ досліду	Вид сировини або середовища	Найменування пристрою	Результат вимірювання, °C
1			
2			
...			
N			

2. Розрахувати абсолютну та відносну похибку вимірювання кожним приладом і зробити висновок щодо точності вимірювання приладів лабораторного стенду.



1 – потенціометр; 2 – мост; 3 – цифровий вимірювальний прилад;
4 – логометр.

Рисунок 9 – Лабораторний стенд вимірювання температур

1.5 Контрольні питання

- 1) Які шкали для вимірювання температур Вам відомі?
- 2) Які параметри необхідно враховувати при виборі методу вимірювання температури?
- 3) Які методи вимірювання температур Ви знаєте і на чому засновані ці методи?
- 4) Наведіть конструкцію, принцип дії, сферу застосування та характеристику рідинних термометрів.
- 5) Наведіть конструкцію, принцип дії, сферу застосування та характеристику механічних термометрів.
- 6) Наведіть конструкцію, принцип дії, сферу застосування та характеристику термопар.
- 7) Наведіть конструкцію, принцип дії, сферу застосування та характеристику потенціометрів.
- 8) Наведіть конструкцію, принцип дії, сферу застосування та характеристику логометрів.
- 9) Наведіть конструкцію, принцип дії, сферу застосування та характеристику оптичних термометрів.
- 10) Наведіть конструкцію, принцип дії, сферу застосування та характеристику термометрів опору.
- 11) Наведіть конструкцію, принцип дії, сферу застосування та характеристику газових термометрів.

12) Наведіть конструкцію, принцип дії, сферу застосування, класифікацію та характеристику пірометрів.

13) Наведіть будову лабораторного стенду вимірювання температур.

Рекомендована література

1. Лариков Н. Н. Теплотехника: Учеб. для вузов/ Н. Н. Лариков. – 3-е изд. / перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1985. – 432 с.

2. Моик И.Б. Термо и влагометрия пищевых продуктов/ Под ред. И.А.Рогова-М.: Агропромиздат, 1988. - 303 с.

3. Бабицкий Л.Ф. Основы научных исследований / Л.Ф. Бабицкий, В.М. Булгаков, Д.Г. Войтюк, В.И. Рябец. – Изд-во НАУ, Киев, 1999 – 228с.

