

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторної роботи
«ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ТЕРМОМЕТРОМ ОПОРУ»
за курсом «Теплотехнічні вимірювання та прилади»
для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика»
усіх форм навчання

Затверджено
редакційно-видавничою
радою університету,
протокол № 2 від 28.06.2023 р.

Харків
НТУ «ХПІ»
2023

Методичні вказівки до лабораторної роботи «Вимірювання температури термометром опору» для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика» усіх форм навчання / уклад.: О. Р. Пересьолков О. В. Круглякова. – Харків: НТУ «ХП», 2023. – 15 с.

Укладачі: О. Р. Пересьолков
О. В. Круглякова

Рецензент: Т. М. Пугачова

Кафедра теплотехніки та енергоефективних технологій

ВСТУП

Вимірювання температури є однією із основних вимог практично будь-яких технологічних процесів багатьох галузей промисловості. Температура є виробничим параметром, який потребує суворого контролю та постійної корекції. Точність контролю температури залежить від кількох факторів, у тому числі від правильного вибору датчика для конкретних завдань та технологічних процесів.

Виміряти температуру будь-якого тіла безпосередньо, тобто, як вимірюють інші фізичні величини, наприклад довжину, масу, об'єм або час, неможливо, оскільки у природі немає еталона чи зразка одиниці температури. Тому визначення температури речовини здійснюють за допомогою спостереження за зміною фізичних властивостей іншої, так званої термометричної (робочої) речовини, яка, будучи приведена в контакт з нагрітим тілом, з ним вступає через деякий час в теплову рівновагу.

Внаслідок зміни при нагріванні внутрішньої енергії речовини практично всі фізичні властивості останньої більшою чи меншою мірою залежать від температури, але для її вимірювання вибираються по можливості ті з них, які однозначно змінюються зі зміною температури, не схильні до впливу інших факторів і порівняно легко піддаються виміру. Цим вимогам найбільш повно відповідають такі властивості робочих речовин, як об'ємне розширення, зміна тиску в замкнутому об'ємі, зміна електричного опору, виникнення термоелектрорушійної сили та інтенсивність випромінювання, покладені в основу пристрою приладів для вимірювання температури.

Лабораторна робота має на меті вивчення, закріплення знань та здобуття практичних навичок вимірювання температури за допомогою термометра опору, принцип ді якого ґрунтується на властивості вимірювального резистора змінювати свій електричний опір при зміні температури.

Завдання дослідження: вивчити принцип дії термометра опору.

Розібратися в конструкції терморезистора. Закріпити знання схем, конструкцій та принципу дії вторинних приладів, які використовуються в комплексі з термометрами опору. Здобути навички практичного використання цього способу вимірювання температури.

1 ПРИНЦИП ДІЇ ТЕРМОМЕТРІВ ОПОРУ, ЇХ КОНСТРУКЦІЯ ТА ОПИС ВТОРИННИХ ВИРІМЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ В КОМПЛЕКСІ З ТЕРМОМЕТРАМИ ОПОРУ

Термометри електричного опору використовуються в якості первинного перетворювача температури робочого середовища у відповідний сигнал в системах автоматичного регулювання параметрів роботи теплотехнічного обладнання.

Принцип дії електричних термометрів опору (терморезисторів) засновано на залежності електричного опору металевих провідників від температури.

Електричний опір речовини металевого провідника залежить від концентрації вільних носіїв заряду (електронів) та частоти їх зіткнень з іонами кристалічних ґрат, що здійснюють коливальні рухи біля положень стійкої рівноваги. Частота зіткнень вільних електронів з іонами кристалічних ґрат зі зростанням температури зростає, оскільки збільшується амплітуда коливання іонів, що у свою чергу ускладнює проходження електронів, тобто збільшується опір електричного струму.

Якщо відома залежність між електричним опором термометру опору і його температурою (градуювальна характеристика), то, вимірявши опір, можна визначити температуру середовища, в яке він занурений.

Термометр опору виготовляється з тонкого дроту, який складений вдвоє і намотаний у вигляді спіралі на слюдяний каркас (рис. 1). Така намотка з двох дротів називається біфілярною (рис. 2) та застосовується в електроапаратах або приладах, коли треба одержати електричний опір, що не має індуктивності (індуктивність характеризує здатність перешкоджати наростанню сили струму). Намотка розташована в металевому корпусі, електроізольована, має відводи до клем в головці корпусу. До клем приєднуються дроти, які підключаються до вторинного приладу.

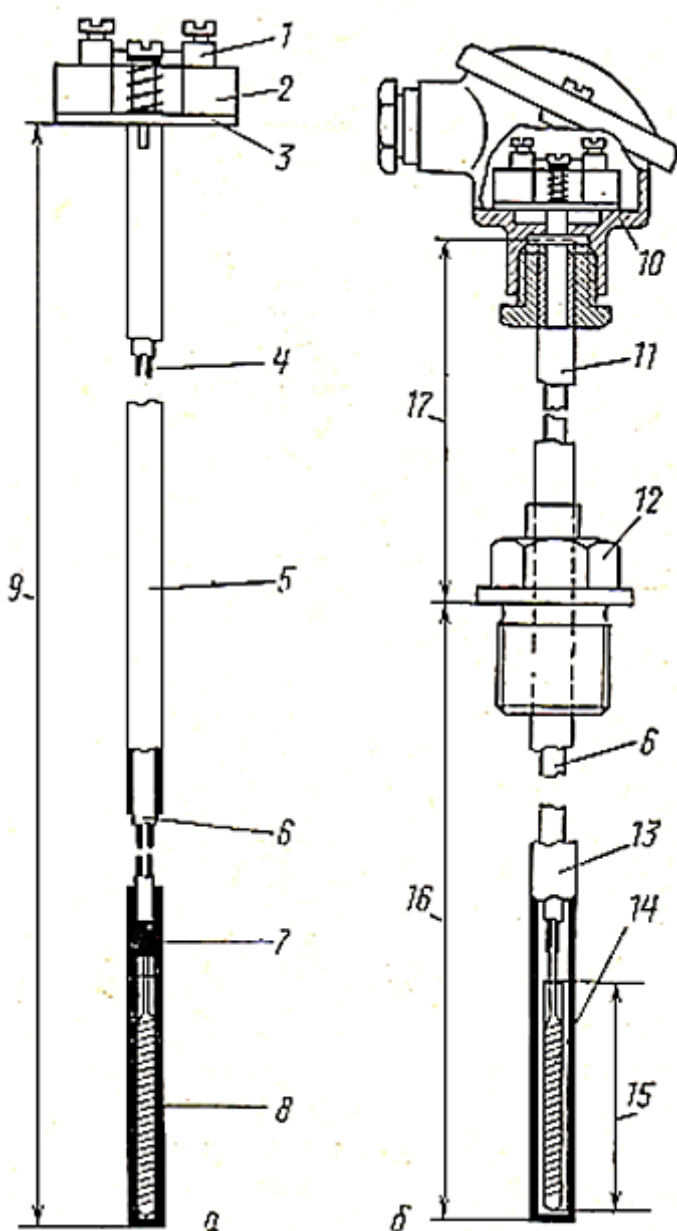


Рисунок 1 – Конструкція термометру опору:

а – вимірювальна вставка; *б* – перетин вимірювальної вставки в захисному чохлі з різьбовою втулкою та з'єднувальною головою:

1 – з'єднувальна клемма; 2 – керамічна головка; 3 – фланець; 4 – з'єднувальні дроти; 5 – подовжувальна трубка; 6 – керамічна ізолююча трубка; 7 – місце з'єднання; 8 – вимірювальний резистор; 9 – встановлювальна довжина вставки; 10 – з'єднувальна головка; 11 – проміжна трубка; 12 – різьбова втулка; 13 – чохол; 14 – вимірювальний резистор; 15 – довжина термоприймача; 16 – установлювальна довжина; 17 – довжина проміжної трубки

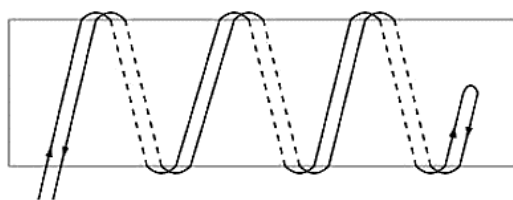


Рисунок 2 – Біфілярна намотка

До матеріалу дроту висувається низка вимог. Він повинен мати високий температурний коефіцієнт для отримання хорошої чутливості, стійкість фізичних властивостей при значних змінах температури, хорошу відтворюваність складу, стійкість до впливів довкілля, стабільність характеристик у часі. Чим хімічно чистіший метал, тим більшою мірою він

відповідає цим вимогам. Найчастіше в термометрах опору використовують платину Pt (позначення П) і мідь (Cu).

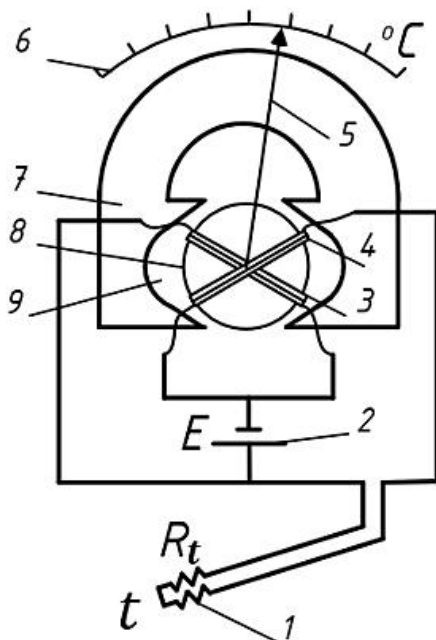
Для ідентифікації термометрів опору (ТС) існують спеціальні літерно-цифрові позначення, які використовують, наприклад, в градуювальних таблицях цих приладів. Так, цифра означає номінальну статичну характеристику термометра (R_0), тобто його опір при $0\text{ }^\circ\text{C}$, який вказаний в омах, а буква – метал, з якого виготовлений дріт (опір). Наприклад, ТСП50 – це платиновий (П) термометр опору (ТС) з номінальною статичною характеристикою 50 Ом при $0\text{ }^\circ\text{C}$.

Для термометрів опору потрібно джерело електричного струму та вторинний показуючий прилад, який градуйований в Омах або градусах Цельсія.

Треба зазначити, що термометр опору має досить великі габарити.

Вторинними вимірювальними пристроями для термометру опору можуть слугувати логометр (рис. 2) або електричний міст (рис. 3).

Логометр, схема якого показана на рис. 2, а, а зовнішній вигляд – на рис. 2, б, має дві перехрещені рамки виготовлені з тонкого мідного дроту, які підключені безмоментними токопідводами.



а



б

Рисунок 2 – Логометр:

а – схема; *б* – зовнішній вигляд; 1 – термометр опору; 2 – джерело живлення; 3, 4 – рамки з мідного дроту; 5 – стрілка; 6 – шкала, градуйована в градусах Цельсія; 7 – постійний магніт; 8 – сердечник; 9 – повітряний зазор змінної ширини

На рамки впливають магнітні силові лінії від постійного магніту. При проходженні струму по рамках виникають магнітоелектричні крутячі моменти, які мають напрями назустріч друг другу. Повітряний проміжок між сердечником та полюсними кінцівками має змінну ширину.

Таким чином, при повороті рухливої системи рамка 4, яка має більший крутячий момент, входить в більший зазор, де магнітна індукція зменшується, в результаті чого її крутячий момент буде зменшуватися. Інша рамка 3 в той самий час входить в менший зазор, де магнітна індукція більше, тому її крутячий момент зростає. Коли досягається рівність крутячих моментів, система зупиняється, при цьому кут повороту системи ϕ пропорційний опору датчика ($\phi = CR_t$). Цей опір реєструється стрілкою по шкалі логометра, яка градуйована в градусах Цельсія.

На панелі приладу вказано клас точності приладу, який виражає відношення максимальної абсолютної похибки $\Delta_{\max}, ^\circ\text{C}$, гарантованої виробником, до діапазону вимірювання $D, ^\circ\text{C}$ у відсотках.

$$K = \frac{\Delta_{\max} \cdot 100}{D}$$

Електричний урівноважений міст (див. рис. 3) використовується для вимірювання опору терморезистора R_t .

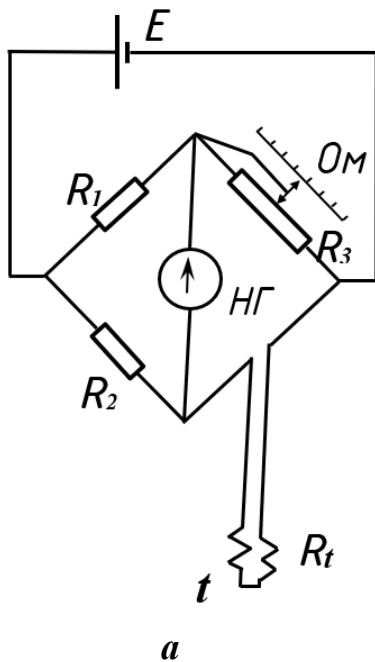


Рисунок 3 – Врівноважений електричний міст:

a – схема; *б* – зовнішній вигляд;

R_t – опір терморезистора; R_1 та R_2 – постійні резистори; R_3 – реохорд, за яким відбувається відлік значення R_t ; НГ – нуль-гальванометр; E – джерело живлення

В мостову схему включено два постійних резистора R_1 та R_2 , виготовлених з манганіну, опір якого практично не залежить від температури. За допомогою реохорда R_3 , регулюється схема до тих пір, поки нуль-гальванометр у вимірювальній діагоналі покаже відсутність струму. При цьому $R_t = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_3$. Тобто вимірювання опору терморезистора R_t відбувається за показаннями реохорда R_3 .

Мультиметр – універсальний монофункціональний прилад, який має опції вимірювання електричного опору по принципу моста та реєстрації результату на цифровому індикаторі (рис. 4). Точність вимірювання мультиметром є достатньою для його використання на практиці.



Рисунок 4 – Зовнішній вид мультивольтметра

2 СХЕМА ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ ТА МЕТОДИКА ВИМІРЮВАННЯ І РЕГІСТРАЦІЇ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДІВ

Схема лабораторної установки показана на рис. 5. В роботі термометр опору платиновий з номінальною статичною характеристикою $R_0 = 50$ Ом, встановлюється всередину електричної печі разом з контрольним рідинним скляним термометром розширення. За допомогою під'єднувачів опір терморезистора послідовно можна вимірювати різними вторинними приладами. В роботі використовуються такі прилади:

- логометр Ш69000, діапазон вимірювання температури від 0 до 200 °С, клас точності $K = 1,5$, шкала в градусах Цельсія. Блок живлення

підключається до мережі 220В.

- електричний міст врівноважений, діапазон вимірювання 0–1000 Ом з нуль-гальванометром. Блок живлення підключається до мережі 220В.

- мультиметр РС-510, використовується в діапазоні вимірювання до 200 Ом, з внутрішнім джерелом живлення.

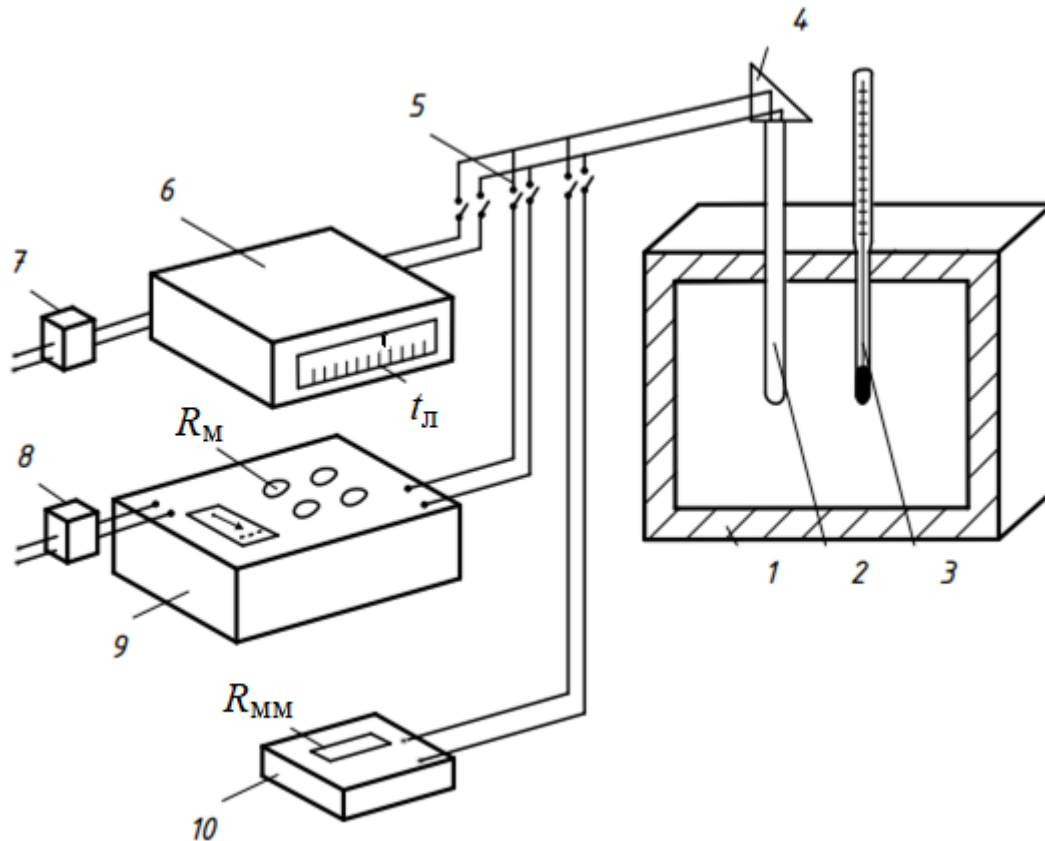


Рисунок 5 – Схема лабораторної установки:

1 – піч; 2 – термометр опору; 3 – рідинний скляний термометр розширення; 4 – клемна коробка; 5 – під'єднувачі термометра опору до приладів; 6 – логометр; 7 – блок живлення логометра; 8 – блок живлення моста; 9 – вимірювальний електричний міст; 10 – мультиметр

УВАГА! Включення установки, підключення приладів та підготовка до проведення дослідів виконується строго під керівництвом викладача.

Дослідження та реєстрація дослідних даних виконується студентами під керівництвом викладача.

Піч треба розігріти до температури порядку 170 °С. При цьому, регулюючи напругу живлення печі лабораторним трансформатором, треба вийти на стаціонарний режим роботи печі, тобто щоб температура середовища в печі не змінювалась.

Після цього необхідно послідовно підключати термометр опору до кожного з приладів, включати відповідний блок живлення й вимірювати опір терморезистора і температуру в печі. Одночасно ця температура контролюється рідинним скляним термометром розширення.

2.1 Вимірювання за допомогою логометра

Схема логометра показана на рис. 2. Першим кроком необхідно провести ідентифікацію логометра як приладу (зафіксувати його модель, діапазон вимірювання температур, клас точності, ціну поділки, конструктивне оформлення).

Далі за шкалою логометра реєструється температура в градусах Цельсія, яка заноситься до табл. 1. Одночасно реєструються показання рідинного термометра розширення.

2.2 Вимірювання за допомогою електричного моста

Схема електричного моста для вимірювання опору показана на рис. 3.

При вимірюванні декадними магазинами моста потрібно підібрати значення опору в Ом, яке відповідає опору терморезистора. При цьому нуль-гальванометр покаже відсутність електроструму у ланцюзі. Показання заносимо до табл. 1. Далі за допомогою градуювальної таблиці залежності температури від опору платинового терморезистора з $R_0 = 50$ Ом (табл. Д.1 додатку) знаходиться відповідна температура, яка також заноситься до табл. 1. Одночасно температура вимірюється рідинним термометром розширення і заноситься до табл. 1.

2.3 Вимірювання за допомогою мультиметра

Мультиметр включається в режим омметра. Після підключення термометру опору до мультиметра вимірюється його опір та за градуювальною таблицею (див. табл. Д.1) здійснюється переведення опору в температуру. Ця температура й показання контрольного термометра заносяться до табл. 1.

Таблиця 1 – Дослідні дані

№ з/п	Найменування	Позначення	Розмірність	Значення
1	Вимірювання логометром:			
	а) температура за шкалою логометра	$t_{\text{Л}}$	$^{\circ}\text{C}$	
	б) температура за контрольним термометром	$t_{\text{КЛ}}$	$^{\circ}\text{C}$	
2	Вимірювання електричним мостом:			
	а) опір терморезистора	$R_{\text{МТ}}$	Ом	
	б) температура відповідна до значення опору $R_{\text{МТ}}$	$t_{\text{МТ}}$	$^{\circ}\text{C}$	
	в) температура за контрольним термометром	$t_{\text{КМТ}}$	$^{\circ}\text{C}$	
3	Вимірювання мультиметром:			
	а) опір терморезистора	$R_{\text{ММ}}$	Ом	
	б) температура відповідна до значення $R_{\text{ММ}}$	$t_{\text{ММ}}$	$^{\circ}\text{C}$	
	в) температура за контрольним термометром	$t_{\text{КММ}}$	$^{\circ}\text{C}$	

3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ

Оцінимо похибку вимірювань температури термометром опору з використанням різних вторинних приладів. В роботі за еталонне значення температури приймаються показання рідинного термометра розширення, хоча це є не зовсім коректним, тому що термометр розширення має меншу точність вимірювання.

Абсолютна похибка вимірювання температури термометром опору та іншим вторинним приладом складає, $^{\circ}\text{C}$

$$\Delta_i = |t_i - t_{\text{К}}|.$$

Відносна похибка, %

$$\delta_i = \frac{\Delta_i}{t_{\text{К}}} 100.$$

Для логометра, використовуючи значення класу точності K та діапазону вимірювання температури D , °С, можна також розрахувати максимально можливу абсолютну похибку вимірювання температури, яка гарантується виробником цього приладу, °С:

$$\Delta_{л \max} = \frac{K \cdot D}{100}$$

Логометр може вважатися працездатним, якщо значення $\Delta_{л \max}$ буде більшим за абсолютну похибку $\Delta_{л}$, яка розрахована за результатами лабораторної роботи.

Результати розрахунків похибок заносяться до табл. 2.

Таблиця 2 – Аналіз дослідних даних

№ з/п	Найменування	Позначення	Розмірність	Значення
1	Вимірювання логометром:			
	а) абсолютна похибка	$\Delta_{л}$	°С	
	б) відносна похибка	$\delta_{л}$	%	
	в) максимально допустима абсолютна похибка	$\Delta_{л \max}$	°С	
2	Вимірювання електричним мостом:			
	а) абсолютна похибка	Δ_{MT}	°С	
	б) відносна похибка	δ_{MT}	%	
3	Вимірювання мультиметром:			
	а) абсолютна похибка	Δ_{MM}	°С	
	б) відносна похибка	δ_{MM}	%	

Треба усвідомлювати, що на точність вимірювання впливають певні фактори. Так, чутливий елемент термометра опору розміщується в трубці з нержавіючої сталі, що обумовлює інерційність зміни температури датчика і його опору, якщо температура в печі зростає. Тобто показання за шкалою логометра будуть нижчими порівняно з контрольним термометром. Також на показання рідинного термометра розширення може впливати променевий нагрів від стінок печі, таким чином його показання будуть завищені.

4 ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ

В звіт про проведення лабораторної роботи включається:

- схема лабораторної установки,
- таблиця дослідних даних,
- методика їх обробок,
- таблиця аналізу дослідних даних,
- висновок студента за результатами роботи.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Поясніть принцип дії термометра опору та його конструкцію.
2. Поясніть призначення вторинних приладів, які використовуються з термометром опору.
3. Як здійснюється переведення опору терморезистора (Ом) в температуру (°C)?
4. Які існують переваги та недоліки способу вимірювання температури за допомогою термометра опору?

ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

1. Бабіченко А.К., Тошинський В.І., Михайлов В.С., Подустов М.О., Пугановський О.В. Промислові засоби автоматизації. Ч. 1. Вимірювальні пристрої / За заг. ред. А.К. Бабіченка: Навч. посібник. Харків: НТУ «ХПІ», 2001. 470 с.
2. Курилов А.Ф., Козін В.М. Теплотехнічні вимірювання і прилади. Суми: СумДУ, 2015. 189 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

Градувальна характеристика термометра опору

Таблиця Д.1 – Градувальна характеристика платинового термометра опору типу ТСП з номінальною статичною характеристикою $R_0 = 50 \text{ Ом}$

Температура термометра, °С	Опір термолетворювача, Ом									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-10	48,011	47,812	47,612	47,413	47,214	47,014	46,814	46,615	46,415	46,215
- 0	50,000	49,801	49,603	49,404	49,205	49,006	48,807	48,608	48,409	48,210
+ 0	50,000	50,198	50,397	50,595	50,793	50,992	51,190	51,387	51,586	51,784
10	51,982	52,180	52,378	52,576	52,774	52,972	53,169	53,367	53,564	53,762
20	53,959	54,156	54,354	54,551	54,749	54,946	55,143	55,340	55,536	55,733
30	55,930	56,127	56,323	56,520	56,717	56,914	57,110	57,306	57,503	57,699
40	57,895	58,091	58,287	58,483	58,679	58,875	59,071	59,267	59,462	59,658
50	59,854	60,050	60,245	60,440	60,635	60,831	61,026	61,221	61,416	61,611
60	61,806	62,001	62,196	62,391	62,586	62,781	62,975	63,170	63,364	63,559
70	63,753	63,947	64,141	64,336	64,530	64,724	64,918	65,112	65,306	65,500
80	65,694	65,887	66,081	66,275	66,468	66,661	66,855	67,048	67,242	67,435
90	67,628	67,821	68,014	68,207	68,400	68,593	68,786	68,979	69,171	69,364
100	69,556	69,749	69,941	70,134	70,326	70,514	70,711	70,903	71,095	71,288
110	71,479	71,671	71,863	72,055	72,238	72,438	72,630	72,821	73,013	73,204
120	73,396	73,587	73,779	73,970	74,161	74,352	74,543	74,734	74,925	75,116
130	75,306	75,497	75,688	75,879	76,069	76,259	76,450	76,640	76,831	77,021
140	77,211	77,401	77,591	77,781	77,971	78,161	78,352	78,541	78,731	78,921
150	79,110	79,300	79,489	79,679	79,868	80,057	80,247	80,436	80,625	80,814
160	81,003	81,192	81,381	81,570	81,759	81,948	82,137	82,325	82,513	82,702
170	82,890	83,079	83,267	83,455	83,644	83,832	84,020	84,208	84,396	84,584
180	84,772	84,959	85,147	85,334	85,522	85,710	85,897	86,085	86,272	86,460
190	86,647	86,834	87,021	87,208	87,395	87,583	87,770	87,956	88,143	88,330
200	88,516	88,704	88,889	89,076	89,262	89,449	89,635	89,822	90,008	90,194
210	90,380	90,566	90,752	90,938	91,124	91,309	91,495	91,681	91,867	92,052
220	92,237	92,423	92,609	92,794	92,979	93,164	93,349	93,534	93,719	93,904
230	94,089	94,274	94,459	94,644	94,829	95,013	95,198	95,383	95,567	95,752
240	95,936	96,120	96,305	96,489	96,673	96,857	97,041	97,225	97,409	97,593

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторної роботи

«Вимірювання температури термометром опору»

за курсом «Теплотехнічні вимірювання та прилади»

для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика»

всіх форм навчання

Укладачі: ПЕРЕСЬОЛКОВ Олександр Романович
КРУГЛЯКОВА Ольга Володимирівна

Відповідальний за випуск проф. М. П. Кунденко
Роботу рекомендувала до видання доц. Л. І. Тютюнник

В авторській редакції

План 2023 р., поз. 474

Підписано до друку 3.07.2023. Формат 60x84 1/16.

Riso-друк. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 0,3.

Наклад 40 прим. Зам. №. Ціна договірна

Видавничий центр НТУ «ХП», 61002, Харків, вул. Кирпичова, 2
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 5478 від 21.08.2017 р.

Надруковано у копії-центрі «МОДЕЛІСТ» (ФО-П Миронов М.В.,
Свідоцтво ВО4№022953) м. Харків, вул. Мистецтв, 3 літер Б-1 Тел. 7-170-354

www.modelist.in.ua