



**Міністерство освіти і науки України  
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет енергетики, робототехніки та комп'ютерних технологій  
Кафедра електромеханіки, робототехніки, біомедичної інженерії та  
електротехніки**

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМОПАР**

**Методичні вказівки  
до виконання лабораторних робіт з дисципліни  
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
денної форми  
навчання  
зі спеціальності 163 «Біомедична інженерія»**

**Харків 2023**



Міністерство освіти і науки України

ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**Факультет енергетики, робототехніки та комп'ютерних технологій**

**Кафедра електромеханіки, робототехніки, біомедичної інженерії та електротехніки**

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ТЕРМОПАР**

Методичні вказівки  
до виконання лабораторних робіт з дисципліни  
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
денної форми навчання зі спеціальності  
163 «Біомедична інженерія»

Затверджено  
рішенням Науково-  
методичної ради  
факультету енергетики,  
робототехніки та комп'ютерних  
технологій  
Протокол № 3  
від 22.02.2023 р.

Харків  
2023

УДК 517.27  
Ф 32

Схвалено  
на засіданні кафедри електромеханіки, робототехніки, біомедичної інженерії  
та електротехніки  
Протокол №5 від 16.02.2023 р.

**Рецензенти:**

**О. Г. Аврунін**, докт. техн. наук, проф., завідувач кафедри біомедичної інженерії Харківського національного університету радіоелектроніки;  
**О. М. Мороз**, докт. техн. наук, проф., професор кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту Державного біотехнологічного університету

**Ф-32** Дослідження термоелектричних характеристик термопар : метод. вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти ден. форми навчання зі спец. 163 «Біомедична інженерія» / Держ. біотехнологічний ун-т ; авт.-уклад.: Н. Г. Косуліна, Г. А. Ляшенко, Н. В. Полянова. – Харків : [б. в.], 2023. – 24 с.

Методичні вказівки розроблено відповідно до програми навчальної дисципліни «Контрольно-вимірвальні прилади з основами метрології». Видання включає теоретичну частину, алгоритм виконання лабораторної роботи, контрольні запитання та перелік рекомендованої літератури.

Методичні вказівки призначені здобувачам першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної форми навчання зі спеціальності 163 «Біомедична інженерія».

**УДК 517.27**

**Відповідальний за випуск : Н. Г. Косуліна**, д-р техн. наук

© Косуліна Н. Г., Ляшенко Г. А.,  
Полянова Н. В. 2023  
© ДБТУ, 2023

# 1. ПРАВИЛА ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

1. Електрична лабораторія – це приміщення підвищеної небезпеки, тому до роботи в лабораторії допускаються студенти, які прослухали відповідну частину лекційного курсу, інструктаж з техніки безпеки та пожежної безпеки і розписались у відповідному журналі.

2. Робота в лабораторії виконується ланками, або (за рішенням викладача) одноосібно.

3. На протязі одного заняття кожний студент виконує одну роботу. Виконання двох робіт може бути допущено керівником як виключення і лише при наявності певної підготовки студентів.

4. До виконання кожної роботи студенти повинні підготуватись попередньо до лабораторного заняття, ознайомитись з методичними вказівками, відпрацювати відповідні питання теорії з літературних джерел та підготувати бланк звіту за відповідною формою.

5. Керівник перевіряє готовність студентів до виконання роботи (наявність необхідних знань, які дають можливість виконати роботу та бланка звіту) і, тільки упевнившись в підготовленості студентів, дає дозвіл на виконання лабораторної роботи.

Студенти, які виявили непідготовленість, до виконання роботи не допускаються. До чергової роботи також не допускаються студенти, які не пред'явили повністю оформлений звіт попередньої роботи.

6. Отримав дозвіл керівника, студенти монтують схему за відповідними правилами (див. далі), переконавшись в тому, що автоматичні вимикачі вимкнені, тобто до затискачів живлення не підводиться напруга. Змонтована схема перевіряється усіма учасниками ланки і подається на затвердження керівникові.

При виявленні будь-яких ушкоджень приладів або обладнання (при зовнішньому огляді) необхідно звернутись до керівника.

7. Керівник перевіряє правильність монтажу схеми.

При виявленні помилок в монтажу схеми, або навіть в випадку, коли схема по суті працездатна, але не відповідає електричній принципівій схемі методичних вказівок, керівник пропонує студентам виявити і усунути помилку самостійно. Виправлена схема знову перевіряється керівником.

8. Якщо помилок в схемі немає, керівник, після попередження, вмикає схему під напругу, перевіряє її працездатність принаймні в крайніх режимах і дає дозвіл на початок роботи під напругою.

Будь-які перемикання або з'єднання повинні виконуватися у вимкненій схемі. Після кожного перемикання або зміни схеми, якою б вона не була, необхідна повторна перевірка схеми керівником.

Вмикати схему під напругу вперше або після будь-якої її зміни студентам категорично забороняється - вмикати автоматичні вимикачі може виключно керівник.

Студенти, які вмикають схеми свавільно, втрачають право роботи в лабораторії, окрім повної матеріальної відповідальності за можливі збитки, і можуть бути допущені до подальшої роботи лише за спеціальним дозволом.

9. Отримавши дозвіл керівника, студенти виконують спостереження у відповідності з методичними вказівками. Покази приладів підраховуються у відповідності з існуючими правилами і записуються олівцем безпосередньо у звіт у вигляді чисельних значень фізичних величин (не кількості поділок). Не дозволяється після вмикання схеми відходити від лабораторного стола і залишати працюючу схему без нагляду. Усю дослідну частину роботи рекомендується зробити одразу, без вимикання напруги, якщо це не потрібно за методичними вказівками.

10. Після закінчення дослідної частини лабораторної роботи студенти вимикають автоматичні вимикачі і, не розбираючи схеми, виконують всі необхідні розрахунки, після чого пред'являють керівникові звіти.

Якщо деякі результати спостережень викликають сумніви керівника, то вони мають бути перевірені. В іншому випадку керівник дає дозвіл на розбирання схеми.

11. Оформлення звітів виконується безпосередньо на тому ж лабораторному занятті. При цьому дослідні дані залишаються написані олівцем, а розрахункові результати записуються авторучкою.

12. Оформлений звіт на тому ж занятті захищається перед керівником. Як виключення дозволяється захист звітів на наступному занятті.

13. Якщо керівник упевниться в правильності оформлення звіту, в розумінні студентом мети і змісту роботи, методики її проведення, сутності отриманих результатів, знань відповідної частини курсу шляхом опитування студента, розв'язання студентом задач або тестуванням на ЕОМ, він зараховує студенту цю роботу з відміткою в журналі про отриману студентом оцінку і дату захисту звіту.

В іншому випадку робота не зараховується.

Повторний захист звіту можливий лише на наступному занятті і лише після внесення у звіт виправлень, якщо вони необхідні.

При наявності у студента двох незахищених звітів по виконаних роботах він не може бути допущений до виконання подальших робіт в лабораторії.

14. В приміщенні лабораторії повинна підтримуватись тиша.

Паління в лабораторії категорично забороняється.

Залишати заняття навіть на короткий час можна лише з дозволу керівника.

Після закінчення занять студенти зобов'язані упорядкувати свої робочі місця - повністю розібрати електричні схеми, скласти проводи у шухляди столів, підірвати прилади, охайно поставити лави.

15. Під час роботи в лабораторії необхідне дбайливе становлення до лабораторного майна.

Переносити прилади і обладнання з одного місця на інше або переставляти їх в межах стола не дозволяється.

16. При порушенні студентом цих правил, керівник має право відсторонити порушника від роботи в лабораторії. Подальша робота студента можлива лише за спеціальним дозволом.

## 2. ВКАЗІВКИ ПО МОНТАЖУ СХЕМ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

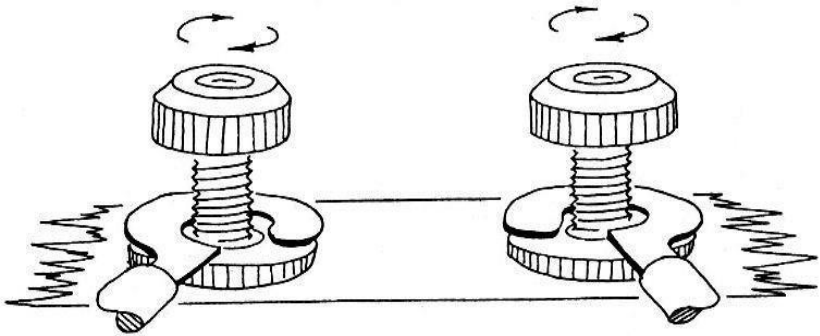
1. Перед початком монтажу необхідно упевнитись в тому, що автоматичний вимикач вимкнений, а індикаторні лампочки не світяться.

2. Монтаж електричної схеми повинен виконуватись у повній відповідності до електричної принципової схеми методичних вказівок.

3. Не дозволяється пересувати і переносити вимірювальні прилади.

4. З'єднувальні провідники мають бути якомога короткими, але не натягнутими, найбільш простим чином розташовуватись у просторі, по можливості не перехрещуватись і не затуляти шкали вимірювальних приладів та ручок органів керування.

Для монтажу різних електричних кіл доцільно використовувати провідники різного кольору. Також доцільно для монтажу головного струмового кола, а також кіл вторинних трансформаторів струму використовувати провідники більшого розрізу ніж для монтажу вимірювальних кіл напруг. Наконечники слід затискати у затискачах так, як зображено на рис. 1.



а) Вірно. Просічка наконечника розташована праворуч відносно гвинта

б) Невірно. Просічка наконечника розташована ліворуч відносно гвинта

Рис. 1. Напрямок затягування барашка затискача

5. Ручки лабораторних автотрансформаторів, якщо ці прилади використовуються, треба установити таким чином, щоб на вихідних затискачах «Навантаження», напруга була відсутня (крайнє положення проти годинникової стрілки).

6. Перш за все треба зібрати головне струмове коло схеми. Воно включає джерело енергії, навантаження, а можливо, ще і амперметри, первинні обмотки вимірювальних трансформаторів струму, струмові обмотки ватметрів і лічильників електричної енергії. При цьому в однофазних схемах змінного струму треба починати з того затискача живлення, який позначений на шильдику кожного робочого стола, з'єднати елементи схеми в тій послідовності, в котрій вони розташовані на електричній принциповій схемі методичних вказівок і продовжити монтаж струмового кола, до іншого затискача живлення, теж позначеного на шильдику робочого стола, або затискача занулення. В трифазних колах змінного струму так саме послідовно монтується головне струмове коло кожної з фаз.

Лише після монтажу головного струмового кола до нього під'єднуються кола напруг вимірювальних приладів. Ці кола можуть включати вольтметри, первинні обмотки вимірювальних трансформаторів напруг, обмотки напруг ватметрів і лічильників електричної енергії, а також кола вторинних обмоток вимірювальних трансформаторів напруг з відповідними приладами.



Особливу увагу треба звертати на правильність і надійність з'єднань в колах вторинних обмоток вимірювальних трансформаторів струму, до яких входять звичайно амперметри, обмотки струму ватметрів і лічильників електричної енергії.

7. Слід по можливості уникати приєднання до одного затискача великої кількості з'єднувальних провідників, розташовуючи їх, якщо це можливо, на інших рівноцінних (у сенсі однаковості потенціалів) затискачах, особливо до тих елементів схеми, які по ходу виконання роботи необхідно замінювати іншими.

8. До затискачів вимірювальних приладів слід підключати лише ті провідники, за допомогою яких цей вимірювальний прилад під'єднується до схеми, але у ватметрів і лічильників електричної енергії при безпосередньому їх вмиканні в електричне коло (без вимірювальних трансформаторів), з'єднання між колами струму і напруги (звичайно затискачі приладу, які відмічені зірочками) слід здійснювати на затискачах самого приладу.

9. При використанні перемикачів слід враховувати можливість непередбачуваних замикань (при перемиканні) деяких ділянок електричної схеми.

10. Органи керування електричними параметрами установити в положення, при яких напруги і струми будуть найменшими.

Межі вимірювань вимірювальних приладів, якщо немає додаткових вказівок або приблизне значення фізичної величини невідоме, установити найбільшими.

11. В монтажі схеми повинні приймати участь всі студенти ланки, розподіляючи між собою по черзі певні ділянки електричної схеми. В вірності монтажу електричної схеми повинні упевнитись всі учасники лабораторної роботи.

12. Звернутись до керівника з проханням перевірити змонтовану електричну схему лабораторної роботи.

### 3. ПРАВИЛА ЗНЯТТЯ ПОКАЗІВ З ПРИЛАДІВ БЕЗПОСЕРЕДНЬОГО ВІДЛІКУ

Шкали приладів безпосереднього відліку можуть бути іменованими (переважно для одноможевих приладів) і умовними (переважно для багатомежевих приладів). Оскільки кількість поділок шкали залежить від класу точності приладу, не слід намагатися зняти показ якомога точно (як, наприклад, при користуванні логарифмічною

лінійкою). Розглянемо для прикладу рис. 2.

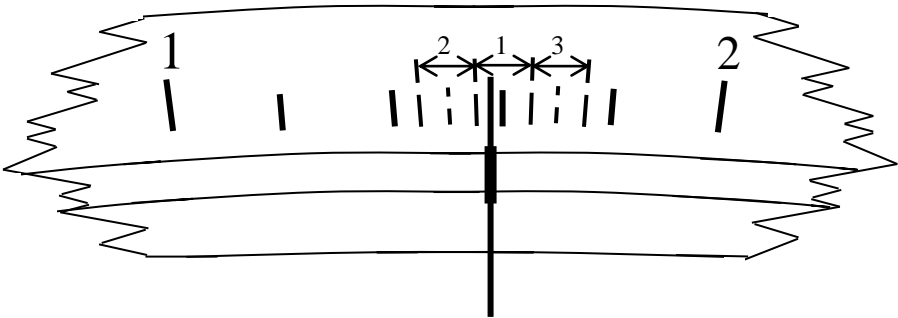


Рис. 2. Фрагмент шкали в вимірювального приладу

Якщо показник знаходиться де завгодно у зоні 1, як на рис. 2, відлік буде 1,6.

Якщо показник знаходиться де завгодно у зоні 2, відлік буде 1,5.

Якщо показник знаходиться де завгодно у зоні 3, відлік буде 1,7.

Зображені штриховими лініями однакові за розміром і розташовані симетрично відносно поділок зони треба уявити на око.

При наявності дзеркальної шкали, око треба розташувати таким чином, щоб показник і його зображення у дзеркальці збіглися.

При використанні приладів з умовними шкалами значення фізичних величин розраховується таким чином.

Для вольтметрів:

$$U, V = \frac{\text{Номінальне значення напруги (межа вимірювань), В}}{\text{Значення останньої оцифрованої поділки шкали, под.}}$$

× Відлік показника, под.

Для амперметрів:

$$I, A = \frac{\text{Номінальне значення струму (межа вимірювань), А}}{\text{Значення останньої оцифрованої поділки шкали, под.}}$$

× Відлік показника, под.

Для ватметрів:

$$P, \text{Вт} = \frac{\text{Номінальне значення напруги (межа вимірювань), В} \times$$

$$\times \frac{\text{Номінальне значення струму (межа вимірювань), А}}{\text{поділки шкали, под.}}$$

× Відлік показника, под.

Якщо прилад вимірює кратні або частинні величини, то змінюється лише розмірність чисельника у відношенні. Межі вимірювань вимірювальних приладів, якщо немає додаткових вказівок або приблизне значення фізичного параметра невідоме, спочатку слід обирати найбільшими. В подальшому необхідно зменшувати межу вимірювань до того значення, при якому показник буде знаходитись якомога далі від початку шкали, але ні в якому разі не зашкалювати, що досягається попереднім розрахунком.

Значення напруги і струму не повинні перевищувати відповідних номінальних значень ватметрів, тобто номінальні значення напруги і струму ні в якому разі не можна обирати за принципом зручності розрахунків, обираючи зручну сталу приладу.

### Зразок звіту з лабораторної роботи

1. Мета роботи
2. Прилади і обладнання

*Таблиця 1*

#### Прилади і обладнання

N п/п	Назва	Сист. або тип	Клас точн.	Межі вимірювань або зміни параметрів	Зав. N	Основні параметри	Прим.
1							
2							

3. Електричні принципові схеми
4. Таблиці даних спостережень і розрахунків
5. Розрахункові формули (повинна бути наведена повна словесна розшифровка всіх прийнятих умовних позначень)
6. Графіки та векторні діаграми  
(Будуються, якщо вони потрібні, охайно з використанням креслярських приладів на міліметровій або на папері в клітинку. Векторні діаграми повинні супроводжуватись наведенням масштабів, обраних з ряду  $1 \cdot 10^n, 2 \cdot 10^n, 5 \cdot 10^n$ , де  $n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ ).
7. Висновки  
(Потрібно дати основні висновки по роботі. Так, наприклад, в роботах по повірках приладів треба перш за все встановити факт відповідності або невідповідності приладів своєму класу точності).

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА

### ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМОПАР

#### 1.1. Мета роботи

Засвоїти методику калібровки термопар (ТП), визначити коефіцієнти апроксимуючого її термоелектричну характеристику степеневого полінома, засвоїти методику вимірювання температури з використанням ТП і компенсатора та вивчити принцип дії компенсатора.

#### 1.2. Підготовка до роботи

До приходу в лабораторію необхідно:

- ознайомитись з описом лабораторної роботи і підготувати бланк звіту;
- ознайомитись з матеріалами лекцій та навчальною літературою.

#### 1.3. Загальні відомості

Принцип роботи термоелектричного перетворювача (термопар) полягає в перетворенні температури на термоЕРС на основі термоелектричного ефекту Зеебека. Конструктивно термопара являє собою два відповідно з'єднані між собою різнорідні провідники (напівпровідники). Точку їх з'єднання називають *гарячим* (робочим) спаєм термопар. Якщо гарячий спай термопар помістити в середовище з температурою  $t$ , а *холодні* (вільні) кінці – в середовище з температурою  $t_0$ , то значення термоЕРС  $E_T$  буде пропорційним різниці цих температур. Звичайно, якщо температуру вільних кінців термопар підтримувати сталою, то термоЕРС буде функцією температури робочого спаю.

Залежно від температурного діапазону перетворень і умов експлуатації термоелектроди можна виготовляти з різних матеріалів. До матеріалів термопар ставляться такі вимоги, як однозначна залежність термоЕРС від температури, незмінність термоелектричних властивостей, хімічна і механічна стійкість при високих температурах,

висока електропровідність. Для виготовлення термопар термоелектроди з'єднують у гарячому спаї паянням, зварюванням чи скручуванням. У промислових термоелектричних вимірювальних перетворювачах температури (термоелектричних термометрах) термопару вміщують у захисний каркас.

Промисловість випускає багато різних типів термоелектричних термометрів, які залежно від типу мають різні температурні діапазони і властивості.

Рівняння перетворення термопар з задовільною для практики точністю можна подати у вигляді:

$$E_T = a_0 + a_1t + a_2t^2 + a_3t^3,$$

де  $E_T$  – термоЕРС;  $t$  – різниця температур гарячого спаю і холодних кінців;  $a_0, a_1, a_2, a_3$  – сталі, значення яких залежать від матеріалів термоелектродів.

Оскільки залежність  $E_T$  від температури є нелінійною, то для промислових термопар задають табличні дані термоЕРС для різних температур з інтервалом  $1^\circ\text{C}$  при температурі холодних кінців  $t_0 = 0^\circ\text{C}$ .

Щоб уникнути паразитних термоЕРС, термоелектричний термометр під'єднують до вимірювального приладу за допомогою подовжуючих термоелектродів. Для термопар з неблагородних металів подовжуючі термоелектроди виготовляють з тих самих матеріалів, що й термоелектроди термопар, для термопар з благородних металів – з інших матеріалів, які ідентичні в термоелектричному відношенні з матеріалами основної термопар. Температура місць під'єднання подовжуючих термоелектродів з основними електродами має бути однакова.

Для термопар платинородій-платина використовують подовжуючі термоелектроди з міді і сплаву ТП, для термопар хромель-алюмель – з міді і константану, а для термопар хромель-копель – з таких самих металів, як і основні.

Термоелектрична здатність напівпровідникових матеріалів значно вища, ніж у металів та їх сплавів. Тому їх застосування для створення термопар є дуже перспективним, проте воно обмежується значною нестабільністю їх термоЕРС в часі. Для поліпшення стабільності характеристик напівпровідникових термопар їх термоелектроди виготовляють з легованих напівпровідникових матеріалів.

У термоелектричних перетворювачах використовують також

явища утворення термовихрових струмів у напівпровідниковому середовищі та генерування термоЕРС при наявності в ньому градієнта температури. Особливість таких перетворювачів полягає в тому, що вони виготовляються з монокристалічного напівпровідника і в них відсутній спай двох різнорідних матеріалів, як у звичайній термопарі, завдяки чому забезпечується винятково висока стабільність термоЕРС в часі.

Термоелектричні термометри застосовують для вимірювань температури в межах від -200 до 2500 °С.

Для вимірювання температури спільно з термоелектричними термометрами застосовують мілівольтметри або автоматичні компенсатори постійного струму. Особливістю таких мілівольтметрів є відносно великий внутрішній опір (понад 100 - 500 Ом), що потрібно для зменшення впливу опорів термопар і з'єднуючих ліній на результат вимірювання.

Повністю усувають вплив опорів ліній, вимірюючи ЕРС термопар компенсаційним методом, що зумовлюється відсутністю струму в лініях у момент рівноваги компенсатора.

Коливання температури вільних кінців термопар значно впливають на результат вимірювання температури за допомогою термоелектричних термометрів. Практично вільними від цього впливу є лише термоелектричні термометри типу ТВР і ТТР, ЕРС яких майже не залежить від зміни температури вільних кінців у межах від 0 до 300°С. Усувають цей вплив термостатуванням вільних кінців термопар і введенням відповідних поправок, що може виконуватись автоматично за допомогою схем з термозалежними елементами.

#### 1.4. Прилади і обладнання

1. ТП із нешляхетних металів.
2. Імітатор ТП із шляхетних металів і каліброваного теплогенератора.
3. Компенсатор (потенціометр).
4. Універсальне джерело живлення.
5. Електросекундомір.
6. Тепловий об'єкт.

#### 1.5. Порядок виконання роботи

1.5.1. Зняти по постійним точкам температурної шкали (температура твердіння цинку - 630,5 °С, срібла - 960,5 °С і золота - 1063,0 °С) термоелектричні характеристики вказаних керівником ТП:

платинородій-платина;

хромель-алюмель;

платинородій-платина, золото, паладій.

Зібрати електричну схему, з'єднавши вихід імітатора каліброваного теплогенератора і ТП з затискачами «+» і «-» компенсатора, додержуючись вказаної полярності.

1.5.2. Установити перемикач імітатора в положення, що відповідає ТП, яка досліджується.

1.5.3. Для кожної з трьох постійних точок температурної шкали виміряти за допомогою компенсатора термоЕРС ТП, для чого:

перемикач «И-К» (тут і далі збережено російськомовний запис назв органів керування, що існує на приладах) компенсатора установити в положення «К» і при нульових відліках (дискретно і повільно) ручкою «Рег. тока» установити стрілку гальванометра на нуль;

перемикач «И-К» компенсатора (тільки на час виміру) установити в положення «И» і за допомогою регуляторів «mV» (дискретно і повільно) знову установити стрілку гальванометра на нуль, не допускаючи її різкого зашкалювання;

значення термоЕРС прочитати як суму значень положень перемикача і шкального відлікового пристрою.

1.5.4. Заповнити табл. 1.1, встановлюючи кожного разу перемикач імітатора у відповідне положення.

*Таблиця 1.1*

### **Дослідні дані вимірювань термоЕРС в залежності від температури**

Температура	ТермоЕРС, мВ
$T_1 = 630,5 \text{ }^\circ\text{C}$	$E_1 =$
$T_2 = 960,5 \text{ }^\circ\text{C}$	$E_2 =$
$T_3 = 1063,0 \text{ }^\circ\text{C}$	$E_3 =$

1.5.5. Визначити коефіцієнти  $a_0, a_1, a_2$  інтерполюючого термоелектричну характеристику ТП степеневого полінома  $E = a_0 + a_1T + a_2T^2$  в інтервалі температур від  $300 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $1300 \text{ }^\circ\text{C}$  шляхом розв'язування системи рівнянь:

$$\begin{cases} a_0 + a_1 T_1 + a_2 T_1^2 = E_1; \\ a_0 + a_1 T_2 + a_2 T_2^2 = E_2; \\ a_0 + a_1 T_3 + a_2 T_3^2 = E_3, \end{cases}$$

звідки

$$a_0 = \frac{\Delta_0}{\Delta}, \quad a_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta}, \quad a_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta}.$$

Тут

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & T_1 & T_1^2 \\ 1 & T_2 & T_2^2 \\ 1 & T_3 & T_3^2 \end{vmatrix} = T_2 T_3^2 + T_1 T_2^2 + T_3 T_1^2 - T_2 T_1^2 - T_1 T_3^2 - T_3 T_2^2,$$

$$\Delta_0 = \begin{vmatrix} E_1 & T_1 & T_1^2 \\ E_2 & T_2 & T_2^2 \\ E_3 & T_3 & T_3^2 \end{vmatrix} = E_1 T_2 T_3^2 + E_3 T_1 T_2^2 + E_2 T_3 T_1^2 - E_3 T_2 T_1^2 -$$

$$- E_2 T_1 T_3^2 - E_1 T_3 T_2^2,$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 1 & E_1 & T_1^2 \\ 1 & E_2 & T_2^2 \\ 1 & E_3 & T_3^2 \end{vmatrix} = E_2 T_3^2 + E_1 T_2^2 + E_3 T_1^2 - E_2 T_1^2 - E_1 T_3^2 - E_3 T_2^2,$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 1 & T_1 & E_1 \\ 1 & T_2 & E_2 \\ 1 & T_3 & E_3 \end{vmatrix} = T_2 E_3 + T_1 E_2 + T_3 E_1 - T_2 E_1 - T_1 E_3 - T_3 E_2.$$

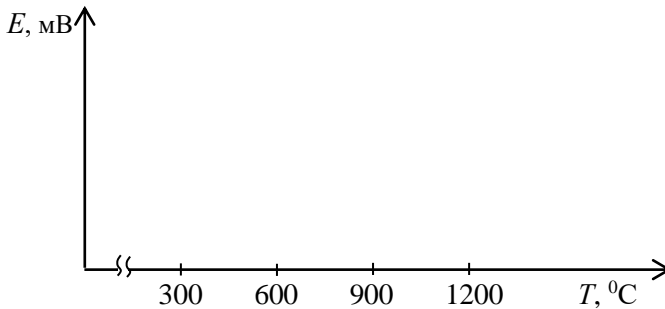
1.5.6. Обчислити значення термоЕРС за формулою  $E = a_0 + a_1 T + a_2 T^2$ , взявши чисельні значення  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  з п. 1.5.5 для температур 300, 500, 700, 900, 1100, 1300 °С. Результати записати в табл. 1.2.



## Результати обчислень термоЕРС в залежності від температури

$T, ^\circ\text{C}$	300	500	700	900	1100	1300
$E, \text{мВ}$						

1.5.7. За даними табл. 1.2 побудувати графік залежності  $E = a_0 + a_1T + a_2T^2$  в інтервалі температур від 300 °С до 1300 °С для ТП, яка досліджується, в системі координат:



На графіку відмітити експериментальні значення температур і відповідних термоЕРС з табл. 1.1.

1.5.8. Зняти за допомогою термопари мідь-ніхром (термоелектрична характеристика якої апроксимується виразом  $E_T = 2,224 \cdot 10^{-2}T - 6 \cdot 10^{-6}T^2$ ) і компенсатора залежність температури вказаного керівником об'єкта від часу при його нагріванні.

1.5.9. Виміряти за допомогою манометричного термометра температуру  $T_x$  оточуючого середовища (тобто температуру холодного спаю ТП).

1.5.10. Підрахувати за формулою п. 1.5.8 термоЕРС  $E'_{T_0}$ , яку розвиває ТП при температурі гарячого спаю, яка дорівнює  $T_x$ .

1.5.11. Підключити ТП до компенсатора з урахуванням вказаної полярності (мідний провід до «-», а ніхромовий до «+» компенсатора).

1.5.12. Після вмикання нагрівача об'єкта вимірювати через кожні 2 хвилини термоЕРС ТП за допомогою компенсатора за методикою, яка вказана в п. 1.5.3. Результати вимірів записати в колонку 2 табл. 1.3.

Таблиця 1.3

**Дослідні дані вимірювань термоЕРС в залежності від часу та результати обчислень**

$t$ , хв.	Вимірне значення термоЕРС $E_T$ , мВ	Обчислене значення термоЕРС при температурі холодного спаю, що дорівнює 0°C $E_{T_0}$ , мВ	Обчислене значення температури гарячого спаю $T$ , °C

1.5.13. Обчислити значення термоЕРС при температурі холодного спаю, що дорівнює 0 °C, за формулою:

$$E_{T_0} = E_T + E_{T_0}' .$$

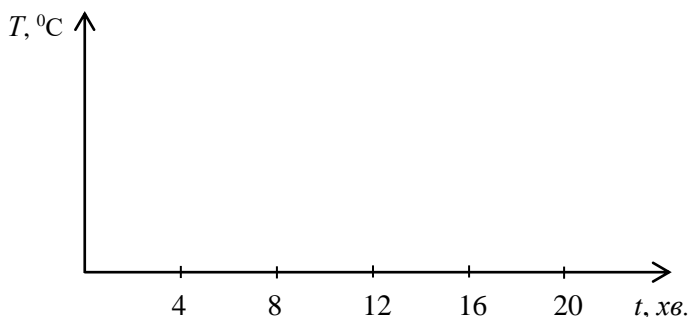
Результати записати в колонку 3 табл. 1.3.

1.5.14. Обчислити значення температури гарячого спаю (тобто температури об'єкта) за формулою:

$$T = \sqrt{1,667 \cdot 10^5 \cdot E_{T_0} + 3,435 \cdot 10^6} - 1853, \text{ } ^\circ\text{C} .$$

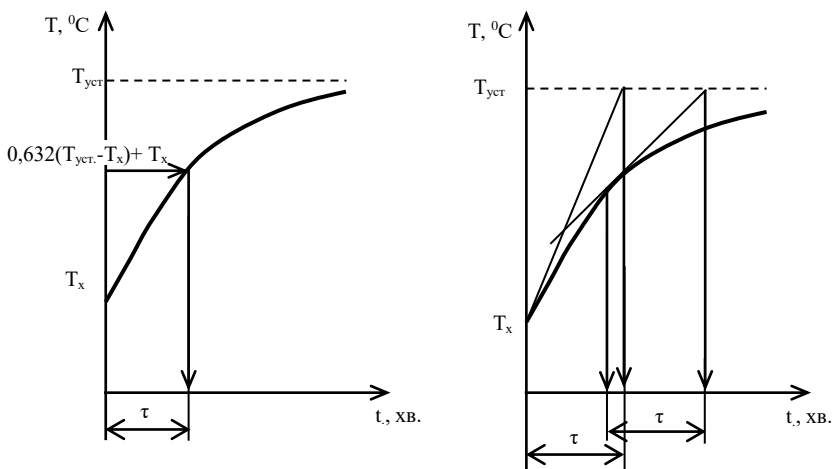
Результати записати в колонку 4 табл. 1.3.

1.5.15. Побудувати графік залежності температури об'єкта від часу в системі координат:



1.5.16. Визначити по графіку п. 1.5.15 постійну часу  $\tau$  нагріву об'єкта, як час, що пройшов від початку нагріву до моменту досягнення температури, що відповідає 0,632 частини усталеній, або часу, що відповідає відрізку, яким відсікає дотична до будь-якої точки від її асимптоти, враховуючи на те, що процес наближено можна вважати адіабатичним.

Визначення  $\tau$  першим і другим способами:



1.5.17. Зробити висновки по роботі.

1.6. Зміст звіту

1. Найменування і мета роботи.
2. Прилади і обладнання.
3. Електрична принципова схема компенсатора (потенціометра) постійного струму з викладенням його принципу дії.

4. Таблиці 1.1, 1.2, 1.3.
5. Графіки відповідно до пп. 1.5.7 і 1.5.15.
6. Розрахункові формули і обчислення.
7. Висновки.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Нестерчук Д. М. Методи і засоби вимірювань електричних і неелектричних величин: Навчальний посібник / Д. М. Нестерчук, С. О. Квітка, С. В. Галько. Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр “Люкс”, 2017. – 206 с.
2. Черепнев А. С. Метрология и основы измерений / А. С. Черепнев, Г. А. Ляшенко, Н. А. Романченко // Харьков, 2008. – 182 с.
4. Черенков О. Д. Основи метрології та електричних вимірювань. Підручник / О. Д. Черенков, Н. Г. Косуліна, Г. А. Ляшенко // Х.: ФОП Влавке, 2020. – 150 с.

## ЗМІСТ

1. ПРАВИЛА ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ .....	5
2. ВКАЗІВКИ ПО МОНТАЖУ СХЕМ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ .....	7
3. ПРАВИЛА ЗНЯТТЯ ПОКАЗІВ З ПРИЛАДІВ БЕЗПОСЕРЕДНЬОГО ВІДЛІКУ .....	9
4. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМОПАР .....	12
1.1. Мета роботи .....	12
1.2. Підготовка до роботи .....	12
1.3. Загальні відомості .....	12
1.4. Прилади і обладнання .....	14
1.5. Порядок виконання роботи .....	14
1.6. Зміст звіту .....	19
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	20



Навчальне видання

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ТЕРМОПАР

Методичні вказівки  
до виконання лабораторних робіт

Автори-укладачі:  
**КОСУЛІНА** Наталія Геннадіївна  
**ЛЯШЕНКО** Геннадій Анатолійович  
**ПОЛЯНОВА** Надія Володимирівна

Формат 60x84/16. Гарнітура Times New Roman  
Папір для цифрового друку. Друк ризографічний.  
Ум. друк. арк. \_.  
Наклад \_\_\_ пр.  
Державний біотехнологічний університет  
61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44

