

Зеленчук Д.І., Козленко О.В.

*Політехнічний ліцей НТУУ «КПІ» м. Києва, пр. Берестейський, 37, email:
zelenchuk.dmytro.i@gmail.com*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», пр. Берестейський, 37,
email: ovkozlenko@gmail.com*

РОЗРОБКА МІДЬ-НІХРОМОВИХ ТА ЗАЛІЗНО-НІСИЛОВИХ ТЕРМОПАР

***Анотація.** Точне вимірювання низьких температур критично важливе для промисловості та наукових досліджень. Одними з найпоширеніших приладів, що використовуються для цього, є термопари, проте на практиці складно досягнути необхідної точності за умови використання поширених термопар. Саме тому тема роботи – дослідження практичних методів вимірювання низьких температур, а також розробка власних термопар, які ефективні (з погляду економічної доцільності та точності результатів) для вимірювання низьких температур, – є актуальною.*

***Abstract.** Accurate measurement of low temperatures is critical for industry and scientific research. One of the most common devices used for that is thermocouples, but it is undoubtedly difficult in practice to achieve the required accuracy using common thermocouples. That is why the topic of the work is the study of practical methods of measuring low temperatures and development of new thermocouples, which are effective (from the point of view of economic feasibility and accuracy of results) precisely for measuring low temperatures.*

***Ключові слова:** температура, шкала вимірювання температури, термометр, точність вимірювання низьких температур, термометр опору, термопара, ефект Зеебека, коефіцієнт термоЕРС.*

***Key words:** temperature, temperature measurement scale, thermometer, low temperature measurement accuracy, resistance thermometer, thermocouple, Seebeck effect, Seebeck coefficient.*

Актуальність дослідження зумовлена тим, що вимірювання низьких температур є критично важливим для промисловості. Для точного вимірювання використовують різноманітні термометри з різними

принципами дії: газові, рідинні, манометричні, термометри опору, біметалеві пластини, пірометри та ін. Одними з найбільш поширених є прилади на основі термопар. Попри їхнє поступове витіснення в промисловості різними термометрами опору, зокрема термісторами, термопари залишаються незамінними в умовах, коли важливі малі габарити, також їхніми перевагами є дешевизна та простота використання. Під час вимірювання низьких температур за допомогою термопар виникає низка труднощів, що негативно впливають на точність результатів. Тому удосконалення технології вимірювання низьких температур за допомогою термопар, зокрема розробка власних термопар, є перспективним та актуальним.

Мета роботи – дослідити методи точного вимірювання низьких температур, запропонувати власну конструкцію приладу вимірювання температури на основі термопари, випробувати отриманий прилад, зробити висновки щодо його переваг у порівнянні з комерційними аналогами..

Для виготовлення власних зразків термопар було обрано сплави міді та ніхрому, заліза та нісилу. Позитивні електроди (мідь та залізо) є достатньо дешевими та легкодоступними. Нісил та ніхром – сплави Ni – є негативними електродами. Нісил має властивості, що позитивно впливають на можливості його застосування в термопарах, детально описані в роботі [1]. Ніхром – це матеріал, що має низьку теплопровідність, а це зумовлює можливість його ефективного застосування для вимірювання низьких температур. Водночас недоліком ніхрому є відносно низька термоЕРС [2]. Дешевизна, загальнодоступність та технічні характеристики цих металів дозволяють зробити припущення про їх ефективність як матеріалів для виготовлення термопар, які буде доцільно використовувати для вимірювання низьких температур. Слід зауважити, що термопари для нетривалого лабораторного використання можна не покривати ізоляційним матеріалом задля здешевлення [3].

Було виготовлено прості та диференціальні термопари (для спрощення термопари, що підключалися диференціальним і простим методом далі називатимемо диференціальними та простими відповідно) мідь-ніхром та залізо-нісил. Проводились випробування отриманих термопар для кожної температури п'ять разів. Попри теоретичні припущення в результаті проведеного тестування в термопарах типу мідь-ніхром простого та диференціального способів підключення до вимірювачів напруги на проміжку досліджуваних температур від $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+270\text{ }^{\circ}\text{C}$ отримані

значення термоЕРС не виходили за межі похибки вимірювальних приладів, що використовувалися. Це унеможливило їхнє практичне використання як належних термометрів. Результати вимірювання напруги в залежності від температури для залізо-нісильових термопар показано на рис. 1 та 2.

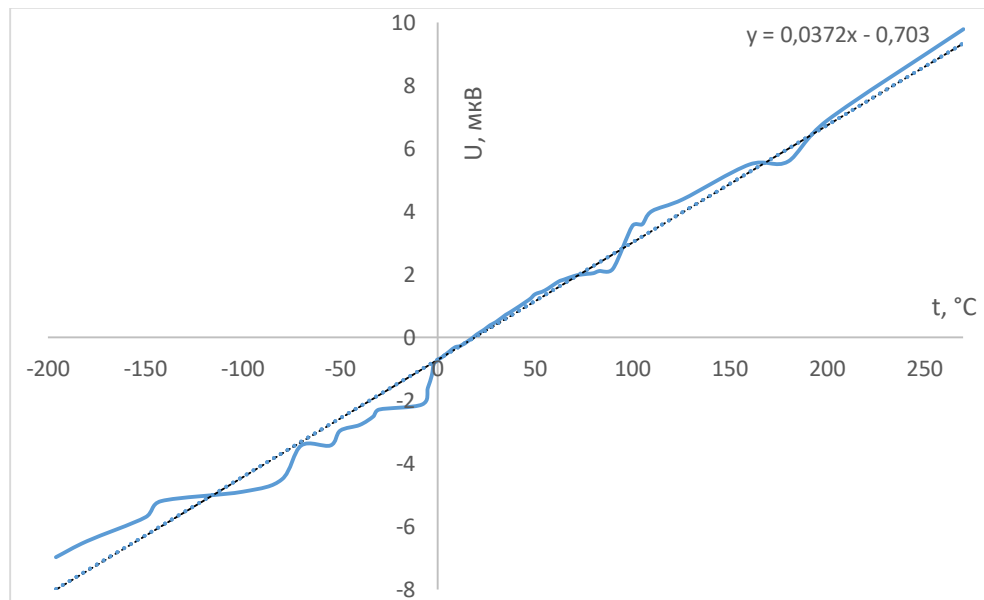


Рис. 1. Залежність напруги на мультиметрі від температури, яку вимірює термопара залізо-нісиль

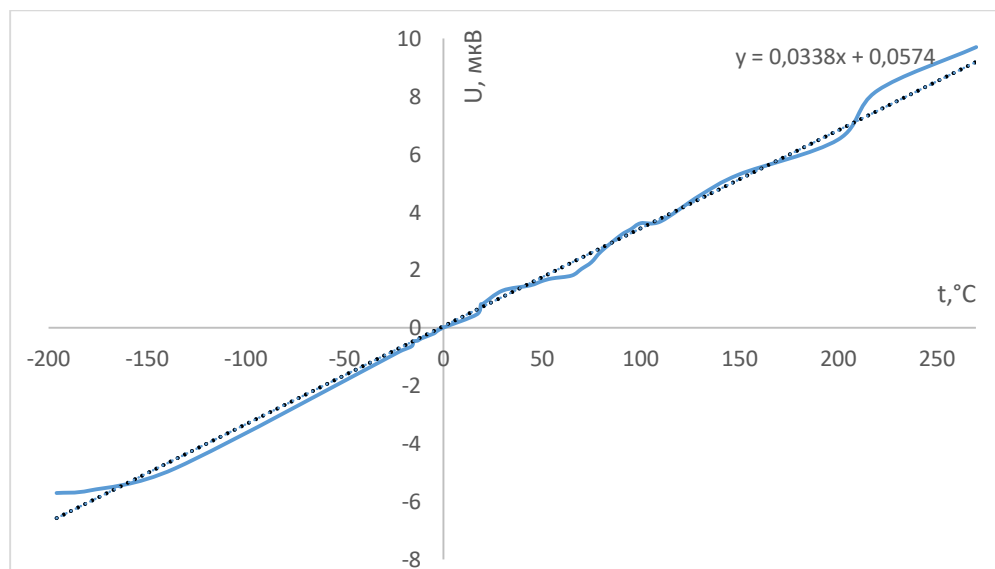


Рис. 2. Залежність напруги на мультиметрі від температури, яку вимірює диференціальна термопара залізо-нісиль.

Обчислимо чутливість першої термопари при кімнатних температурах, взявши дві точки графіка на рис. 1: $\frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{0,5-0,4}{30-27} = 33 \frac{\text{мкВ}}{^\circ\text{C}}$. Аналогічно проаналізувавши інші ділянки графіка можна визначити, що чутливість першої термопари $\approx 24-64 \text{ мкВ}/^\circ\text{C}$ (на різних ділянках графіка чутливість змінюється по-різному, це можна пояснити особливостями виникнення термоЕРС в обраних провідниках, а також похибками вимірювання). Чутливість диференціальної термопари залізо-нісил $\approx 20-41 \text{ мкВ}/^\circ\text{C}$, проте вона суттєво зменшується при низьких температурах. Один із кінців диференціальної термопари було зафіксовано при 0°C .

Отже, проста термопара залізо-нісил більш чутлива, ніж диференціальна, а також може використовуватися для вимірювання низьких температур, натомість диференціальна термопара з таких же провідників має більш стабільну термоЕРС. Верхньою межею ефективного застосування таких термопар є точка Кюрі нікелю – 627°C .

Порівняємо показники напруги отриманих термопар та термопари типу хромель-алюмель, використання якого є найпоширенішим (рис. 3).

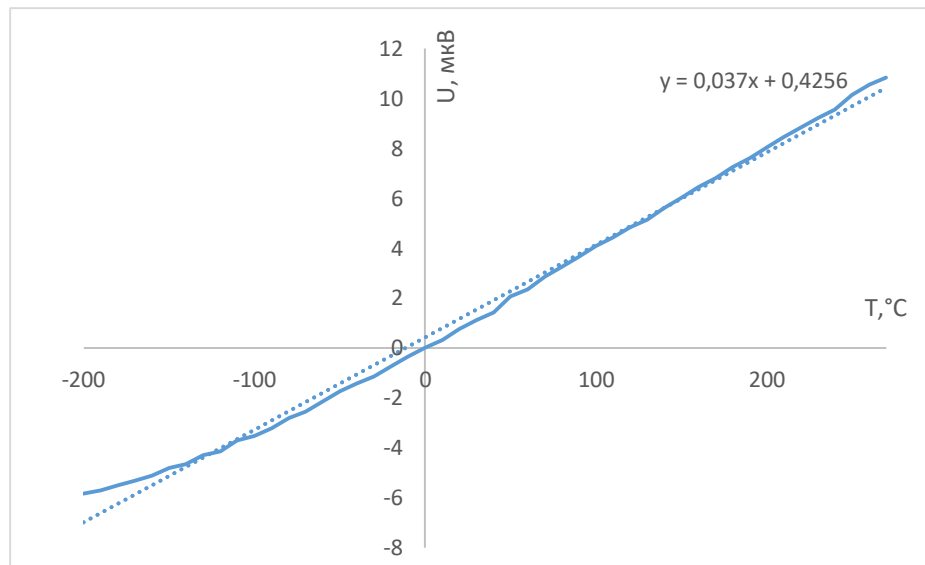


Рис. 3. Залежність напруги на мультиметрі від температури, яку вимірює термопара хромель-алюмель

На графіках, поданих на рис. 1-3, зображено також лінію тренду, що демонструє середню лінійну зміну напруги в залежності від зміни температури. Очевидно, що чим більший коефіцієнт при змінній x, тим швидше зростає функція. Відповідно більші значення має напруга, що

полегшує вимірювання температури та сприяє точності. За цим показником найзручнішою для використання виявляється проста термопара залізо-нісил. Варто також зауважити, що власна термопара, що підключена до системи напряму, має напругу -6,97 мВ при -196 °С, а термопара типу К – -5,72 мВ, це дає підстави зробити висновок, що для точного вимірювання низьких температур більш доцільно використовувати термопари типу залізо-нісил. Цінова характеристика термопар станом на час проведення експерименту є приблизно однаковою.

Висновки:

1. Підібрано матеріали для власних термопар, обрано спосіб їх виготовлення. Отримані термопари випробувано, проаналізовано позитивні та негативні аспекти їхнього використання для вимірювання різних температур.

2. Порівняно результати вимірювань напруги в залежності від температури термопар типу залізо-нісил простого та диференціального способу підключення, зроблено висновки щодо переваг та недоліків використання обох видів підключення термопари до системи.

3. Порівняно отримані термопари з термопарою типу К, визначено, що використання термопар типу залізо-нісил є більш доцільним для точного вимірювання низьких температур.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Bentley R.E., Thermoelectric Hysteresis in Nichrosil and Nisil. J. Physics E: Science Instrumentation, 1987. - 1368-1373.
- [2] Nichrome. URL: <http://www.toaster.org/lmp.html>.
- [3] Quinn T. J., Temperature. London: ACADEMIC PRESS LIMITED, 1990. – 508 с.