

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
Інженерно-хімічний факультет

## МЕТРОЛОГІЯ

### МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання розрахунково-графічної роботи  
для студентів напрямку підготовки  
«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

*Рекомендовано кафедрою автоматизації хімічних виробництв*

Київ  
КПІ ім. Ігоря Сікорського  
2017

Метрологія : Метод. вказівки до викон. розрах.-графіч. роботи для студ. напр. підгот. «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Уклад. М. В. Лукінюк. – КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2014. – 80 с.

*Рекомендовано кафедрою автоматизації хімічних виробництв  
(Протокол № 9 від 20 червня 2017 р.)*

## ЕЛЕКТРОННЕ НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

### МЕТРОЛОГІЯ

Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи  
для студентів напрямку підготовки  
«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Укладач Лукінюк Михайло Васильович, ст. викл.

Відповідальний

редактор

А. І. Жученко, докт. техн. наук, проф.

Рецензент

В. М. Ковалевський, канд. техн. наук, доц.

*У авторській редакції*

## ЗМІСТ

Передмова .....	4
I. Загальні вимоги .....	5
II. Структура розрахунково-графічної роботи .....	5
II.1. Пояснювальна записка .....	5
1. Розроблення схеми контура автоматичного контролю [параметра] .....	6
2. Розрахунок метрологічних характеристик вимірювального каналу .....	6
3. Розрахунок конструктивних параметрів [вимірювача] .....	6
4. Висновки .....	7
5. Список використаних джерел .....	7
II.2. Графічна частина .....	7
III. Список рекомендованої та використаної літератури .....	8
Додаток 1. Методика та приклади обчислення метрологічних характеристик інформаційно-вимірювальних каналів .....	10
Додаток 2. Приклади бібліографічного опису літературних джерел (за ДСТУ ГОСТ 7.1:2006) .....	21
Додаток 3. Метрологічні характеристики окремих ЗВТ .....	23

## ПЕРЕДМОВА

Складність і висока швидкість протікання технологічних процесів у хімічній промисловості, їх чутливість до порушень режиму, а також підвищені вибухо-пожежонебезпечність і шкідливість умов роботи підставово спричинюють підвищену увагу до питань автоматизації хіміко-технологічних процесів. Автоматичний контроль та керування технологічними процесами забезпечують підвищення якості продукту, раціональне використання сировини та енергії, подовження термінів міжремонтного пробігу устаткування, зменшення чисельності технічного персоналу.

Автоматичне вимірювання технологічних параметрів з метою ефективного керування протіканням хіміко-технологічних процесів є одним з найважливіших етапів автоматизації виробничих процесів. Тому в процесі підготовки фахівців цього профілю велика увага приділяється вивченню основ теорії та техніки вимірювань технологічних параметрів.

Метою виконання розрахунково-графічної роботи є закріплення у майбутніх спеціалістів (бакалаврів) отриманих під час вивчення курсу «Метрологія» знань у царині сучасних методів автоматичного контролю технологічних процесів як на базі засобів локальної автоматики, так і на базі мікропроцесорної техніки, а також більш детальне ознайомлення із характеристиками та функціональними можливостями використовуваних для їх побудови засобів вимірювальної техніки.

## **I. ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ**

У процесі виконання розрахунково-графічної роботи студенти отримують практичні знання та навички з таких питань:

– самостійний аналіз технологічних процесів з позицій автоматичного контролю режимних параметрів;

– засвоєння принципів дії та особливостей застосування основних типів первинних вимірювальних перетворювачів (датчиків) технологічних параметрів (див. [1, 5, 7]);

– ознайомлення з функціональними можливостями автоматичних засобів вимірювальної техніки – перетворювачів і приладів, особливостями їх конструкції та умовами експлуатації (див. [2, 5, 7]);

– ознайомлення з методиками розрахунку конструктивних параметрів промислових засобів вимірювання (див. [4, 9]);

– засвоєння методик розрахунку метрологічних характеристик засобів вимірювання та вимірювальних каналів (див. [4]);

– засвоєння основ техніки читання та навичок розроблення схем автоматизації технологічних процесів, ознайомлення з чинними стандартами в царині контролю хіміко-технологічних процесів (див. [6, 8, 11]).

## **II. СТРУКТУРА РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ**

Розрахунково-графічна робота складається з двох частин:

– пояснювальної записки;

– графічної частини.

**II.1. Пояснювальна записка** містить такі розділи<sup>1</sup>:

*Вступ* (без винесення в заголовок – у вигляді преамбули).

Коротко викладаються мета і задачі виконуваної розрахунково-графічної роботи, значення автоматичного контролю в автоматизації хіміко-технологічних процесів.

---

<sup>1</sup> Розділи починаються з нового аркуша.

## **1. Розроблення схеми контура автоматичного контролю [параметра]**

Відповідно до отриманого завдання на виконання розрахунково-графічної роботи вимірювального каналу (файли «ЗАВД-1» – для відповідної навчальної групи: ЛА-#1 і ЛА-#2) розробити:

1.1. Схему контура автоматичного контролю заданого режимного параметра з підбором необхідних для її реалізації засобів вимірювальної техніки;

1.2. Структурну схему розробленого контура автоматичного контролю заданого режимного параметра.

## **2. Розрахунок похибок вимірювального каналу**

Для розробленого контура автоматичного контролю відповідного режимного параметра з відповідних джерел (довідники, каталоги заводів-виробників, інтернет) вибрати засоби вимірювальної техніки з необхідними метрологічними характеристиками та за методикою, наведеною в ДОДАТКУ 1, обрахувати такі метрологічні характеристики:

– середньо-квадратичні абсолютні похибки структурних елементів вимірювального каналу, включно з лініями зв'язку;

– середньо-квадратичну абсолютну похибку розробленого вимірювального каналу в цілому;

– допустиму абсолютну похибку розробленого вимірювального каналу;

– допустиму зведену похибку розробленого вимірювального каналу.

Визначити, якому класові точності відповідає розроблений вимірювальний канал і в якому інтервалі перебуватиме значення вимірюваного режимного параметра.

## **3. Розрахунок конструктивних параметрів [назва вимірювача]**

Відповідно до індивідуального завдання (файли «ЗАВД-2» – для відповідної навчальної групи: ЛА-#1 і ЛА-#2) наводиться докладний розрахунок вимірювальної схеми заданого вимірювача, його окремих деталей і вузлів, а також характеристик. Розрахункові дані повинні супроводжуватися схемами, що пояснюють текст і розрахунки.

Прийняті конструктивні рішення і величини, що входять у формули, мають бути коротко обґрунтовані, а обчислені параметри – узгоджені з унормованими значеннями (ТП, ТО тощо). Методики розрахунку різних вимірювачів наведено в навчальному посібнику [9].

#### **4. Висновки**

Формулюються короткі висновки щодо виконання поставлених задач.

#### **5. Список використаних джерел**

Наводиться список літератури, використаної під час виконання розрахунково-графічної роботи. Бібліографічний опис джерел здійснюється відповідно до вимог стандарту [3] (приклади опису наведено у ДОДАТКУ 2).

**II.2. ГРАФІЧНА ЧАСТИНА** включає схему розробленого контура автоматичного контролю заданого режимного параметра, виконану згідно вимог стандарту [11], структурну схему контура, а також принципову схему розрахованого вимірювача.

Креслення виконують за допомогою *засобів комп'ютерної графіки* (пакети Компас, Visio або AutoCAD) на папері форматів А4 (594×841 мм). Уздовж сторони аркуша проводиться рамка (ліворуч – на відстані 20 мм, від інших сторін – 5 мм). У правому нижньому куті розташовують основний напис згідно з вимогами ЄСКД.

Схема розробленого контура автоматичного контролю виконується *розгорнутим* способом на базі локальної автоматики.

Приклади виконання окремих контурів автоматичного контролю на схемах автоматизації наведено в додатках 1, 2 посібників [6, 8].

Необхідні технічні засоби (первинні та проміжні перетворювачі, вторинні прилади, регулятори, виконавчі механізми, монтажні вироби тощо) слід підбирати за допомогою каталогів виробників і довідників [1, 2] на технічні засоби автоматизації, що серійно виробляються промисловістю. Паперовими примірниками видань [1, 2] можна скористатись у лаб. 307-19 кафедри АХВ.

### **III. Список рекомендованої та використаної літератури**

1. **Бабіченко А. К.** Промислові засоби автоматизації [Текст]: навч. посіб.: У 2 ч. / А. К. Бабіченко, В. І. Тошинський, В. С. Михайлов та ін.; за заг. ред. А. К. Бабіченка. – Х.: НТУ «ХП», 2003. – Ч. 1. Вимірювальні пристрої. – 470 с. : іл. – Бібліогр.: с. 467. – 500 пр. – ISBN 966-593-232-2.

2. **Бабіченко А. К.** Промислові засоби автоматизації [Текст]: навч. посіб.: У 2 ч. / А. К. Бабіченко, В. І. Тошинський, В. С. Михайлов та ін.; За заг. ред. А. К. Бабіченка. – Х.: НТУ «ХП», 2003 р. – Ч. 2. Регулювальні і виконавчі пристрої. – 658 с. : іл. – Бібліогр.: с. 644–645. – 500 пр. – ISBN 966-593-292-6.

3. Бібліографічний запис. Бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання [Текст] : ДСТУ ГОСТ 7.1:2006. – Чинний від 01.07.2007. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 56 с.

4. **Ефимов В. Т.** Методы расчетов в автоматизации химико-технологических и теплоэнергетических процессов [Текст] : Учеб. пособ. для вузов / В. Т. Ефимов, В. И. Молчанов, А. В. Ефимов. – Х.: ХГПУ, 1998. – 316 с. – Бібліогр.: с. 310–311. – 300 пр. – ISBN 966-593-040-0.3. *Гриф МОН України.*

5. **Лукінюк М. В.** Технологічні вимірювання та прилади: Навч. посіб. – К.: ІВЦ “Видавництво «Політехніка»”, 2007. – 436 с. *Гриф МОН України.*

6. **Лукінюк М. В.** Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об’єкти керування та схеми автоматизації [Текст] : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Автоматизація і комп’ют.-інтегр. технології / М. В. Лукінюк. – К.: НТУУ «КП», 2008. – 236 с. : іл. – Бібліогр.: с. 230–231. – 200 пр. – ISBN 978-966-622-287-2. *Гриф МОН України.*

7. **Лукінюк М. В.** Контроль і керування хіміко-технологічними процесами: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл.: У 2 кн. Книга 1. Методи та технічні засоби автоматичного контролю хіміко-технологічних процесів [Текст] : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Хімічна технологія та інженерія». – К.: ІВЦ “Видавництво «По-



літехніка»», 2012. – 336 с. : іл. – Бібліогр.: с. 328–330. – 300 пр. – ISBN 978-966-622-530-9. – *Гриф МОН України.*

8. **Лукінюк М. В.** Контроль і керування хіміко-технологічними процесами: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл.: У 2 кн. Книга 2. Керування хіміко-технологічними процесами [Текст] : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Хімічна технологія та інженерія». – К.: ІВЦ «Видавництво «Політехніка»», 2012. – 336 с. : іл. – Бібліогр.: с. 330–331. – 300 пр. – ISBN 978-966-622-531-6. – *Гриф МОН України.*

9. **Лукінюк М. В.** Технологічні вимірювання та прилади [Текст] : навч. посіб. для курс. проектування. – К.: НТУУ «КПІ», 2002. – 268 с. : іл. – Бібліогр.: с. 241.

10. Перетворювачі термоелектричні. Номінальні статичні характеристики перетворення [Текст] : ДСТУ 2837-94 (ГОСТ 3044-94). – Чинний від 31.10.1994. – К.: Держстандарт України, 1995. – 221 с.

11. Правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів [Текст] : ДСТУ Б А.2.4–3:2009. Чинний від 23.01.2009. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 54 с.

12. Термоперетворювачі опору. Загальні технічні вимоги і методи випробувань [Текст] : ДСТУ 2858–94 (ГОСТ 6651-94). – Чинний від 23.11.1994. – К.: Держстандарт України, 1995. – 53 с.

13. Шишкин И.Ф. Теоретическая метрология [Текст] : Учеб/ для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Питер, 2010. – 192 с: ил. – (Серия «Учебник для вузов»). – ISBN 978-5-49807-203-6.

## Методика та приклади обчислення метрологічних характеристик інформаційно-вимірювальних каналів

Під час технологічних вимірювань, як правило, використовують вимірювальні комплекти або інформаційно-вимірювальні системи (ІВС), які складаються з кількох вимірювальних засобів. Тому, оцінюючи загальну похибку вимірювання, потрібно оцінити похибки вимірювального комплекту чи ІВС загалом. Зазвичай будь яка вимірювальна система складається з первинних вимірювальних перетворювачів, ліній зв'язку, вторинних приладів або аналогово-цифрових перетворювачів (АЦП) перед входом в ЕОМ та інших мікропроцесорних засобів.

Сумарну похибку  $\sigma_{\Sigma}$  вимірювального каналу (системи) доцільніше визначити як суму квадратів середньо-квадратичних похибок  $\sigma_i$  її складових\*:

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \dots + \sigma_n^2}.$$

Оскільки складові вимірювального каналу (первинні перетворювачі – канали зв'язку – вимірювальні прилади) нормовані граничнодопустимими похибками, то за нормального закону розподілу матимемо такі залежності між граничним (допустимим) значенням похибки ( $\Delta_m$ ) та її середньо-квадратичним значенням  $\sigma$  [13]:

$\Delta_m = \sigma$  – зустрічається в середньому один раз на кожні 3 спостереження;

$\Delta_m = 2\sigma$  – один раз на кожні 22 спостереження,

$\Delta_m = 3\sigma$  – один раз на кожні 370 спостережень,

$\Delta_m = 4\sigma$  – один раз на кожні 15000 спостережень.

Характеристики похибки вимірювальних каналів вимірювально-інформаційних систем та АСУ ТП для реальних умов експлуатації: нижня та верхня границі інтервалу, в якому з імовірністю  $P_d = 0,95$ , перебуває сумарна похибка вимірювальних каналів у реальних умовах експлуатації, визначається за формулою

$$\Delta_m = \pm K_n \sigma.$$

---

\* Методика определения обобщенных метрологических характеристик измерительных каналов ИИС и АСУ ТП по метрологическим характеристикам агрегатных средств измерений : РД 153-34.0-11.201-97. Введ. в действ. 01.02.1999 [Электронный ресурс] / ОАО «ОРГРЭС». – М., 1999. – Режим доступа: [http://standartgost.ru/g/РД\\_153-34.0-11.201-97](http://standartgost.ru/g/РД_153-34.0-11.201-97), своб. – Загл. с экрана. – Язык рус.

Значення коефіцієнта  $K_n$  залежить від виду закону розподілу похибок і вибраного значення довірчої ймовірності  $P_d$  (для значень  $P_d$  90 %; 95 % і 99 % коефіцієнт має значення  $K_{n0,9} = 1,6$ ;  $K_{n0,95} = 1,96$  і  $K_{n0,99} = 3$ ). Як відомо, для дуже великого числі вимірювань за нормального закону розподілу похибка, що дорівнює, наприклад,  $2\sigma$ , матиме довірчу ймовірність 95 %. Це означає, що 95 % усього масиву похибок перебуватиме в межах  $\pm 2\sigma$  (точніше  $\Delta_{0,95} = 1,96\sigma$ )<sup>1</sup>. А значення похибки, визначене як  $\Delta_{0,9} = 1,6\sigma$ , для широкого класу симетричних (координата центру розподілу  $m = 0$ ) розподілів: рівномірного, трикутного, трапецеїдального, нормального, експоненціального, а також для сумарного розподілу будь-якого поєднання розподілів цього класу є похибкою з 90%-ю довірчою ймовірністю.

У тих випадках, коли можна з упевненістю припускати достатню близькість закону розподілу похибок до нормального розподілу, для визначення симетричних меж довірчої похибки з довірчою ймовірністю  $P_d = 0,95$  (за  $m = 0$ ) можна викори стати теоретичне співвідношення для нормального розподілу  $\Delta_{0,95} = 1,96\sigma$ .

### **ПРИКЛАД розрахунку № 1**

1. Розробити схему автоматичного контролю температури перегрітої пари 440 °С в трубопроводі за допомогою термоперетворювача опору з виведенням вимірювальної інформації на мікропроцесорний індикатор і забезпеченням сигналізації граничних (верхнього і нижнього) значень. Запропонувати необхідні для її реалізації технічні засоби автоматизації.

2. Розробити структурну схему вимірювального каналу температури перегрітої пари.

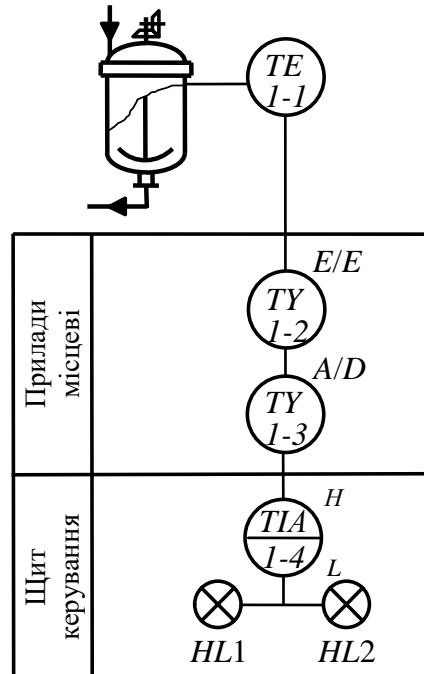
3. Розрахувати сумарну похибку вимірювального каналу температури перегрітої пари (довірчу ймовірність взяти такою, що дорівнює 0,95), підібравши ЗВТ з відповідними метрологічними характеристиками.

---

<sup>1</sup> 99,7 % усього масиву похибок перебуває в межах  $\pm 3\sigma$ , тобто  $\Delta_{0,99} = 3\sigma$ .

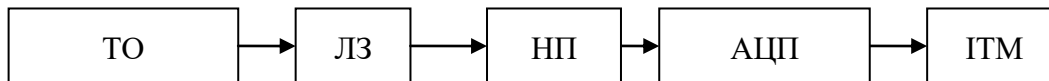
## ВИКОНАННЯ ЗАВДАННЯ:

1.



1-1 – терморетворювач опору (ТО); 1-2 – нормувальний перетворювач; 1-3 – аналого-цифровий перетворювач; 1-4 – індикатор цифровий мікропроцесорний з пристроєм сигналізації; HL1, HL2 – лампи сигнальні електричні.

2. Структурну схему розробленого контура автоматичного контролю температури перегрітої пари представимо у вигляді:



Використані позначення: ЛЗ – лінії зв'язку; НП – нормувальні перетворювачі; АЦП – аналого-цифровий перетворювач; ІТМ – індикатор цифровий мікропроцесорний.

3. Виходячи з умов завдання, структурні елементи схеми виберемо з такими характеристиками: ТО платиновий ТСП-1287 з діапазоном 0...500 °С та класом допуску В (табл. Д4.2), лінії зв'язку (ЛЗ) класу точності 0,4 (табл. Д4.4), нормувальний перетворювач Ш79 класу точності 0,25 (табл. Д4.8), аналого-цифровий перетворювач АЦП2 класу точності 0,25 (табл. Д4.8) і одноканальний мікропроцесорний індикатор ІТМ-12 класу точності 0,2 (табл. Д4.8).

3.1. Для ТОП з класом допуску  $B$  граничнодопустиме відхилення опору в діапазоні вимірювання від мінус 220 до 1100 °С визначається з виразу  $\pm(0,3 + 0,005 |t|)$  (табл. Д4.1). Звідси допустима абсолютна похибка термоперетворювача опору ТСП-1287:

$$\Delta t_{\text{доп}} = \pm (0,3 + 0,005 \times |440|) = 2,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

*Примітки.* 1. Для деяких ЗВТ ця граничнодопустима (**абсолютна**) похибка  $\Delta t_{\text{доп}}$  наводиться серед характеристик (див. рівнеміри в табл. 4.8).

2. Якщо вибраний ПВП має діапазон вимірювання та клас точності, наприклад, ТСПУ-0388 з діапазоном 200...600 °С і класом точності 1, то **абсолютна** допустима похибка визначається за відомою формулою:

$$\Delta t_{\text{доп\_ТО}} = \frac{K_{\text{Т\_ТО}} \text{ДВ}}{100} = \frac{1(600-200)}{100} = 4,0 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Середньо-квадратичну похибку ТО  $\sigma_{\text{ТО}}$  в абсолютних значеннях знайдемо з виразу  $\Delta_{0,95} = K_{\text{Н}0,95} \sigma$ :

$$\sigma_{\text{ТО}} = \frac{\Delta t_{\text{доп}}}{K_{\text{Н}0,95}} = \frac{2,5}{1,96} = 1,28 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

3.2. Визначимо допустимі абсолютну та середньо-квадратичну похибки для ліній зв'язку:

$$\Delta_{\text{доп\_ЛЗ}} = \frac{K_{\text{Т\_ЛЗ}} t_{\text{вим max}}}{100} = \frac{0,4 \cdot 440}{100} = 1,76 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\sigma_{\text{ЛЗ}} = \frac{\Delta_{\text{доп\_ЛЗ}}}{K_{\text{Н}0,95}} = \frac{1,76}{1,96} = 0,90 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

3.3. Визначимо допустимі абсолютну та середньо-квадратичну похибки для нормувального перетворювача:

$$\Delta_{\text{доп\_НП}} = \frac{K_{\text{Т\_НП}} t_{\text{вим max}}}{100} = \frac{0,25 \cdot 440}{100} = 1,10 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\sigma_{\text{НП}} = \frac{\Delta_{\text{доп\_НП}}}{K_{\text{Н}0,95}} = \frac{1,10}{1,96} = 0,56 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

3.4. Допустимі абсолютна та середньо-квадратична похибки АЦП:

$$\Delta_{\text{доп\_АЦП}} = \frac{K_{\text{Т\_АЦП}} t_{\text{вим max}}}{100} = \frac{0,25 \cdot 440}{100} = 1,10 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\sigma_{\text{АЦП}} = \frac{\Delta_{\text{доп}}_{\text{АЦП}}}{K_{\text{H}_{0,95}}} = \frac{1,10}{1,96} = 0,56 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

3.5. Визначимо допустимі абсолютну та середньо-квадратичну похибки для мікропроцесорного індикатора ІТМ-12:

$$\Delta_{\text{доп}}_{\text{ІТМ}} = \frac{K_{\text{Т}}_{\text{ІТМ}} t_{\text{вим}}}{100} = \frac{0,2 \cdot 440}{100} = 0,88 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\sigma_{\text{ІТМ}} = \frac{\Delta_{\text{доп}}_{\text{ІТМ}}}{K_{\text{H}_{0,95}}} = \frac{0,88}{1,96} = 0,45 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

3.6. Розрахуємо середньо-квадратичну абсолютну похибку вимірювального каналу:

$$\sigma_{\text{ВК}} = \sqrt{\sigma_{\text{ТО}}^2 + \sigma_{\text{ЛЗ}}^2 + \sigma_{\text{НП}}^2 + \sigma_{\text{АЦП}}^2 + \sigma_{\text{ІТМ}}^2} = \sqrt{1,28^2 + 0,90^2 + 0,56^2 + 0,56^2 + 0,45^2} = 1,81 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

3.7. Розрахуємо допустиму абсолютну похибку вимірювального каналу:

$$\Delta_{\text{доп}}_{\text{ВК}} = \pm K_{\text{H}_{0,95}} \sigma_{\text{ВК}} = \pm 1,96 \cdot 1,81 = 3,55 \text{ } ^\circ\text{C},$$

та допустиму зведену похибку вимірювального каналу:

$$\gamma_{\text{доп}}_{\text{ВК}} = \pm \frac{\Delta_{\text{доп}}_{\text{ВК}}}{t_{\text{ВГВ}}} \cdot 100 \% = \frac{3,55}{440} \cdot 100 \% = 0,81 \% .$$

Таким чином, аналізований вимірювальний канал температури відповідає класу точності 1, а дійсне значення вимірюваної температури перегрітої пари  $t_{\text{д}} = 440 \pm 3,55 \text{ } ^\circ\text{C}$  з імовірністю  $P_{\text{д}} = 0,95$ .

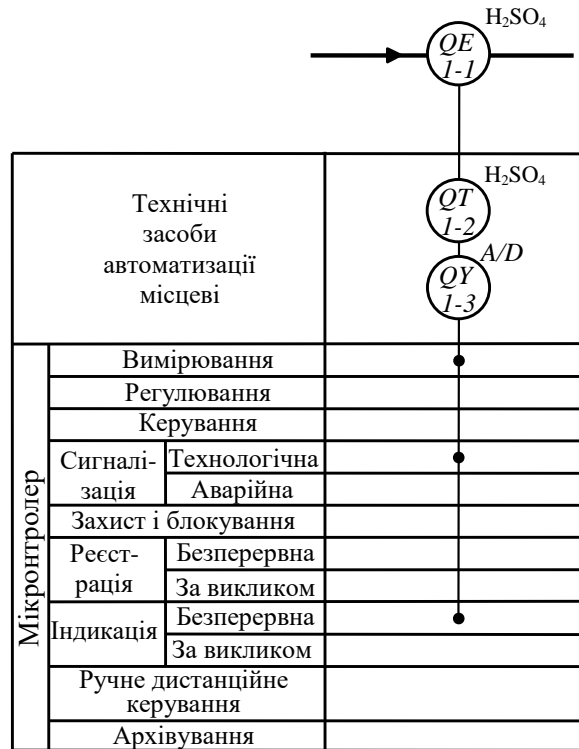
## **ПРИКЛАД розрахунку № 2**

1. Розробити схему автоматичного контролю концентрації  $\text{H}_2\text{SO}_4$  в трубопроводі з виведенням вимірювальної інформації на мікроконтролер і сигналізацією граничних (верхнього і нижнього) значень контрольованого параметра. Запропонувати необхідні для її реалізації технічні засоби автоматизації.

2. Розробити структурну схему вимірювального каналу концентрації  $\text{H}_2\text{SO}_4$  в трубопроводі.

3. Розрахувати сумарну похибку розробленого вимірювального каналу концентрації  $\text{H}_2\text{SO}_4$  в трубопроводі (довірчу імовірність взяти такою, що дорівнює 0,95), підібравши ЗВТ з відповідними метрологічними характеристиками.

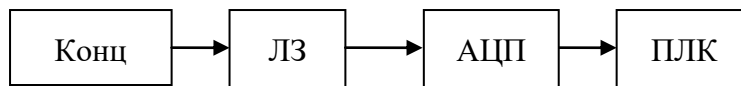
## **ВИКОНАННЯ ЗАВДАННЯ**

**1**

*1-1* – первинний вимірювальний перетворювач концентроміра; *1-2* – блок обробки, індикації та сигналізації концентроміра з уніфікованим електричним вихідним сигналом; *1-3* – аналого-цифровий перетворювач.

**2**

Структурну схему вимірювального каналу розробленого контура автоматичного контролю концентрації  $H_2SO_4$  в трубопроводі представимо у вигляді:



Використані позначення: Конц – концентромір; ЛЗ – лінії зв’язку; АЦП – аналого-цифровий перетворювач; ПЛК – програмований логічний контролер (мікропроцесорний контролер).

**3**

Виходячи з умов завдання, структурні елементи схеми виберемо з такими метрологічними характеристиками: кондуктометричний концентромір рідин АЖК–3101М.К з діапазоном (ДВ) 0...99 % і класом точності 5; лінії зв’язку (ЛЗ) класу точності 0,4 (дод. 5), аналого-цифровий перетворювач АЦП2

класу точності 0,25 (дод. 7) і мікропроцесорний контролер (P-130M, КОНТРАСТ і под.).

3.1. Визначимо граничнодопустиму абсолютну похибку для кондуктометричного концентратоміра рідин АЖК–3101М.К:

$$\Delta t_{\text{доп АЖК}} = \frac{K_{\text{Т АЖК}} \text{ДВ}}{100} = \frac{5(99-0)}{100} = 4,95 \text{ \%}.$$

Середньо-квадратичну похибку концентратоміра рідин АЖК–3101М.К  $\sigma_{\text{АЖК}}$  в абсолютних значеннях розрахуємо з виразу  $\Delta_{0,95} = K_{\text{Н}0,95} \sigma$ :

$$\sigma_{\text{АЖК}} = \frac{\Delta t_{\text{доп}}}{K_{\text{Н}0,95}} = \frac{4,95}{1,96} = 2,53 \text{ \%}.$$

3.2. Визначимо граничнодопустимі абсолютну та середньо-квадратичну похибки для ліній зв'язку:

$$\Delta_{\text{доп ЛЗ}} = \frac{K_{\text{Т ЛЗ}} C_{\text{вим max}}}{100} = \frac{0,4 \cdot 99}{100} = 0,40 \text{ \%};$$

$$\sigma_{\text{ЛЗ}} = \frac{\Delta_{\text{доп ЛЗ}}}{K_{\text{Н}0,95}} = \frac{0,40}{1,96} = 0,20 \text{ \%}.$$

3.3. Граничнодопустимі абсолютна та середньо-квадратична похибки АЦП:

$$\Delta_{\text{доп АЦП}} = \frac{K_{\text{Т АЦП}} C_{\text{вим max}}}{100} = \frac{0,25 \cdot 99}{100} = 0,25 \text{ \%};$$

$$\sigma_{\text{АЦП}} = \frac{\Delta_{\text{доп АЦП}}}{K_{\text{Н}0,95}} = \frac{0,25}{1,96} = 0,13 \text{ \%}.$$

3.4. Оскільки мікропроцесор мікроконтролера виконує лише обчислювальні операції, то **його похибка вважається нульовою**.

3.5. Розрахуємо середньо-квадратичну абсолютну похибку вимірювального каналу:

$$\sigma_{\text{ВК}} = \sqrt{\sigma_{\text{АЖК}}^2 + \sigma_{\text{ЛЗ}}^2 + \sigma_{\text{АЦП}}^2} = \sqrt{2,53^2 + 0,2^2 + 0,13^2} = 2,54 \text{ \%}.$$

3.6. Розрахуємо граничнодопустиму абсолютну похибку вимірювального каналу:

$$\Delta_{\text{доп ВК}} = \pm K_{\text{Н}0,95} \sigma_{\text{ВК}} = \pm 1,96 \cdot 2,54 = \pm 4,98 \text{ \%},$$



та граничнодопустиму зведену похибку вимірювального каналу:

$$\gamma_{\text{доп}_{\text{ВК}}} = \pm \frac{\Delta_{\text{доп}_{\text{ВК}}}}{\text{ДВ}} \cdot 100 \% = \pm \frac{4,98}{(99-0)} \cdot 100 \% = \pm 5,03 \%$$

Таким чином, аналізований вимірювальний канал контролю концентрації  $\text{H}_2\text{SO}_4$  в трубопроводі відповідає класу точності 6, а дійсне значення вимірюваної концентрації  $\text{H}_2\text{SO}_4$   $C_{\text{д}} = C_{\text{вим}} \pm 4,98 \%$  з імовірністю  $P_{\text{д}} = 0,95$ .

### ПРИКЛАД розрахунку № 3

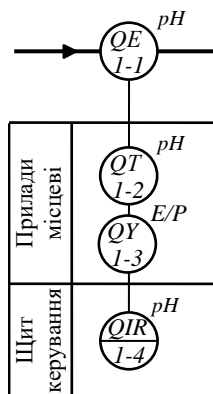
1. Розробити схему системи автоматичного контролю величини  $pH$  в трубопроводі з виведенням вимірювальної інформації на пневматичний вторинний прилад і забезпеченням реєстрації контрольованого параметра. Запропонувати необхідні для її реалізації технічні засоби автоматизації.

2. Розробити структурну схему вимірювального каналу величини  $pH$  в трубопроводі для п. 1.

3. Розрахувати сумарну похибку розробленого вимірювального каналу величини  $pH$  в трубопроводі (довірчу імовірність взяти такою, що дорівнює 0,95), підібравши ЗВТ з відповідними метрологічними характеристиками.

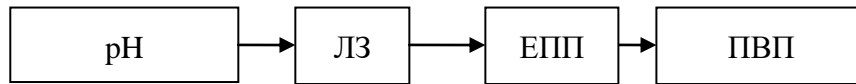
### ВИКОНАННЯ ЗАВДАННЯ

1



*1-1* – первинний вимірювальний перетворювач рН-метра магістрального виконання; *1-2* – проміжний перетворювач рН-метра; *1-3* – електропневматичний перетворювач; *1-4* – прилад вторинний пневматичний показувальний, реєструвальний.

2. Структурну схему вимірювального каналу розробленого контура автоматичного контролю величини  $pH$  у трубопроводі представимо у вигляді:



Використані позначення: рН – рН-метр з уніфікованим електричним вихідним сигналом; ЛЗ – лінії зв’язку; ЕПП – електропневматичний перетворювач; ПВП – пневматичний вторинний прилад показувальний, реєструвальний.

**3.** Скориставшись додатками, виберемо необхідні ТЗА, що відповідають умовам задачі: рН-метр промисловий у складі первинного вимірювального перетворювача магістрального виконання ДМ-5М та проміжного перетворювача П-215М (дод. 7) з класом точності 1, діапазоном вимірювання (ДВ): мінус 1...14, вихідним сигналом  $I_{\text{вих}} = 0...5$  мА; лінії зв’язку (ЛЗ) класу точності 0,4 (дод. 5); електропневматичний перетворювач МТМ 810 з  $I_{\text{вх}} = 0...5$  мА,  $P_{\text{вих}} = 20...100$  кПа і класом точності 0,5 (дод. 7); пневматичний вторинний прилад класу точності 0,5 (дод. 5) показувальний, реєструвальний ФК0071.

3.1. Визначимо граничнодопустиму абсолютну похибку для рН-метра (ДМ-5М + П-215М):

$$\Delta t_{\text{доп рН}} = \frac{K_{\text{рН}} \text{ДВ}}{100} = \frac{1((14 - (-1)))}{100} = \frac{1 \cdot 15}{100} = 0,15 \text{ од. рН.}$$

Згідно з довірчою ймовірністю  $P_d = 0,95$ , для кожного елемента розрахуємо середньо-квадратичну похибку в абсолютних значеннях за виразом  $\Delta_{0,95} = K_{\text{н},0,95} \sigma$ .

Середньо-квадратична похибка для рН-метра:

$$\sigma_{\text{рН}} = \frac{\Delta t_{\text{доп рН}}}{K_{\text{н},0,95}} = \frac{0,15}{1,96} = 0,077 \text{ од. рН.}$$

3.2. Визначимо граничнодопустимі абсолютну та середньо-квадратичну похибки для ліній зв’язку:

$$\Delta_{\text{доп ЛЗ}} = \frac{K_{\text{ЛЗ}} \text{ДВ}}{100} = \frac{0,4 \cdot 15}{100} = 0,06 \text{ од. рН;}$$

$$\sigma_{\text{ЛЗ}} = \frac{\Delta_{\text{доп ЛЗ}}}{K_{\text{н},0,95}} = \frac{0,06}{1,96} = 0,031 \text{ од. рН.}$$

3.3. Граничнодопустимі абсолютна та середньо-квадратична похибки електропневматичного перетворювача:

$$\Delta_{\text{доп}_{\text{ЕПП}}} = \frac{K_{\text{Г}_{\text{ЕПП}}} \text{ДВ}}{100} = \frac{0,5 \cdot 15}{100} = 0,075 \text{ од. рН};$$

$$\sigma_{\text{ЕПП}} = \frac{\Delta_{\text{доп}_{\text{ЕПП}}}}{K_{\text{Н}_{0,95}}} = \frac{0,075}{1,96} = 0,038 \text{ од. рН.}$$

3.4. Граничнодопустимі абсолютна та середньо-квадратична похибки пневматичного вторинного прилада ФК0071:

$$\Delta_{\text{доп}_{\text{ПКП}}} = \frac{K_{\text{Г}_{\text{ПКП}}} \text{ДВ}}{100} = \frac{0,5 \cdot 15}{100} = 0,075 \text{ од. рН};$$

$$\sigma_{\text{ПКП}} = \frac{\Delta_{\text{доп}_{\text{ПКП}}}}{K_{\text{Н}_{0,95}}} = \frac{0,075}{1,96} = 0,038 \text{ од. рН.}$$

3.5. Розрахуємо середньо-квадратичну абсолютну похибку вимірювального каналу:

$$\sigma_{\text{БК}} = \sqrt{\sigma_{\text{рН}}^2 + \sigma_{\text{ЛЗ}}^2 + \sigma_{\text{ЕПП}}^2 + \sigma_{\text{ПКП}}^2} = \sqrt{0,077^2 + 0,031^2 + 0,038^2 + 0,038^2} = 0,099 \text{ од. рН.}$$

3.6. Розрахуємо граничнодопустиму абсолютну похибку вимірювального каналу:

$$\Delta_{\text{доп}_{\text{БК}}} = \pm K_{\text{Н}_{0,95}} \sigma_{\text{БК}} = \pm 1,96 \cdot 0,099 = \pm 0,194 \text{ од. рН}$$

та граничнодопустиму зведену похибку вимірювального каналу:

$$\gamma_{\text{доп}_{\text{БК}}} = \pm \frac{\Delta_{\text{доп}_{\text{БК}}}}{\text{ДВ}} \cdot 100 \% = \pm \frac{0,194}{15} \cdot 100 \% = \pm 1,29 \%$$

Таким чином, аналізований вимірювальний канал величини рН у трубопроводі відповідає класу точності 1,5, а дійсне значення вимірюваної а дійсне значення вимірюваної величини  $\text{рН}_{\text{д}} = \text{рН}_{\text{вим}} \pm 0,194 \text{ од. рН}$  з імовірністю  $P_{\text{д}} = 0,95$ .

**Аналогічно можна розрахувати похибки для вимірювальних каналів з іншими типами та кількістю засобів вимірювальної техніки.**

**ПРИКЛАДИ бібліографічного ОПИСУ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ**

(згідно ДСТУ ГОСТ 7.1:2006. «Бібліографічний запис. Бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання». – Чинний від 01.07.2007)

**1. ОДНОТОМНІ ВИДАННЯ**

**Лукінюк М. В.** Обережно: міфи! Спроба системного підходу до висвітлення фальшувань історії України [Текст]: монографія / КНУ ім. Т. Г. Шевченка; [переднє сл. І. Дзюби]. – К.: Вид-во імені Олени Теліги, 2003. – 576с. – Бібліогр.: с. 540–573. – 1000 пр. – SBN 966-7018-84-9.

**Дорф Р.** Современные системы управления [Текст] / Ричард Дорф, Роберт Бишоп ; перевод с англ. Б. И. Копылова. – М. : Лаборатория Базовых Знаний, 2004. – 832 с. : ил. ; Загл. пер. и корешка: Современные системы управления. – Библиогр.: с. 821–822. – Предм. указ. : с. 823–831. – Перевод изд.: Modern control systems. Ninth edition / Richard C. Dorf, Robert H. Bishop. – New Jersey, Prentice Hall Upper Saddle River, 2001. – 1000 экз. – ISBN 5 93208 119 8 (в пер.).

**2. НАВЧАЛЬНІ ПОСІБНИКИ, ПІДРУЧНИКИ****...книги одного, двох або трьох авторів**

**Лукінюк М. В.** Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об'єкти керування та схеми автоматизації [Текст] : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Автоматизація і комп'ютер.-інтегр. технології / М. В. Лукінюк. – К.: НТУУ «КПІ», 2008. – 236 с. : іл. – Бібліогр.: с. 230–231. – 200 пр. – ISBN 978-966-622-287-2.

**Бондаренко Н. С.** Числові методи [Текст] : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / Н. С. Бондаренко, Н. П. Журков, Г. М. Шевельков ; за заг. ред. Н. П. Соколова. – 2-е вид. – К.: Лаб. базових знань, 2002. – 630 с. : іл. ; 25 см. – Бібліогр.: с. 622–626. – Предм. вказ.: с. 627–630. – 30000 пр. – ISBN 5-93208-043-4.

**...книги чотирьох авторів**

Автоматичні системи керування хіміко-технологічними процесами [Текст] : навч. посіб. для студ. хіміко-технол. спец. / В. Я. Кожухар, В. В. Брем, Ю. Ф. Каверін, Ю. К. Тодорцев. – Одеса: Екологія, 2005. – 224 с. – Бібліогр.: с. 221. – 300 пр. – ISBN 966-8740-06-8.

**...книги п'яти чи більше авторів**

Промислові засоби автоматизації [Текст]: навч. посіб.: У 2 ч. / А. К. Бабіченко, В. І. Тошинський, В. С. Михайлов та ін.; За заг. ред. А. К. Бабіченка. – Х.: НТУ «ХПІ», 2001 р. – Ч. 1. Вимірювальні пристрої. – 470 с. – Бібліогр.: с. 467. – 500. – ISBN 966-593-232-2.

**3. СТАНДАРТИ**

ДСТУ 2858–94. Термоперетворювачі опору. Загальні технічні вимоги і методи випробувань [Текст]. – Чинний від 23.11.1994. – К.: Держстандарт України, 1995. – 53 с.

або

Термоперетворювачі опору. Загальні технічні вимоги і методи випробувань [Текст] : ДСТУ 2858–94. – Чинний від 23.11.1994. – К.: Держстандарт України, 1995. – 53 с.

#### 4. ПАТЕНТНІ ДОКУМЕНТИ

Спосіб визначення середньої температури заготовок в печі графітації [Текст] : пат. 23422 Україна : МПК<sup>7</sup> C01B 31/04, G01K 3/00 / Є. М. Панов, С. В. Кугузов, О. Ю. Уразлина, С. В. Лелека, І. Л. Шилович, М. Ф. Боженко, М. В. Коржик ; заявник і патентовласник НТУУ «КПІ». – № U200613780 ; заявл. 25.12.2006 ; опубл. 25.05.2007, Бюл. № 7. – 3 с. : іл.

Способ измерения массы нефтепродуктов в резервуарах и устройство для его осуществления [Текст] : а. с. 1657975 СССР : МКИ<sup>3</sup>G 01 G 17/04 / М. В. Лукинюк, Ю. В. Кречотень, Б. Б. Булгаков (СССР). – № 4425258/10 ; заявл. 18.05.88 ; опубл. 23.06.91, Бюл. № 23. – 3 с. : ил.

Приемопередающее устройство [Текст] : пат. 2187888 Рос. Федерация : МПК<sup>7</sup> H 04 B 1/38, H 04 J 13/00 / Чугаева В. И. ; заявитель и патентообладатель Воронеж. науч.-ислед. ин-т связи. – № 2000131736/09 ; заявл. 18.12.00 ; опубл. 20.08.02, Бюл. № 23 (II ч.). – 3 с. : ил.

*або*

**Пат. 23422 Україна, МПК<sup>7</sup>C01B 31/04, G01K 3/00.**Спосіб визначення середньої температури заготовок в печі графітації [Текст] / Є. М. Панов, С. В. Кугузов, О. Ю. Уразлина, С. В. Лелека, І. Л. Шилович, М. Ф.Боженко, М. В.Коржик ; заявник і патентовласник НТУУ «КПІ». – № u200613780 ; заявл. 25.12.2006 ; опубл. 25.05.2007, Бюл. № 7.– 3 с. : іл.

**А. с. 1657975 СССР, МКИ<sup>3</sup>G 01 G 17/04.** Способ измерения массы нефтепродуктов в резервуарах и устройство для его осуществления [Текст] / М. В. Лукинюк, Ю. В. Кречотень, Б. Б. Булгаков (СССР). – № 4425258/10 ; заявл. 18.05.88 ; опубл. 23.06.91, Бюл. № 23. – 3 с. : ил.

**Пат. 2187888 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> H 04 B 1/38, H 04 J 13/00.** Приемопередающее устройство [Текст] / Чугаева В. И. ; заявитель и патентообладатель Воронеж. науч.-ислед. ин-т связи. – № 2000131736/09 ; заявл. 18.12.00 ; опубл. 20.08.02, Бюл. № 23 (II ч.). – 3 с. : ил.

#### 5. ОКРЕМИЙ ТОМ БАГАТОТОМНОГО ВИДАННЯ

**Лукінюк М. В.** Контроль і керування хіміко-технологічними процесами [Текст]: у 2 кн. Кн. 1: Методи та технічні засоби автоматичного контролю хіміко-технологічних процесів : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом: «Хімічна технологія та інженерія» / М. В. Лукінюк. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 336 с. : іл. – Бібліогр.: с. 328–330. – 200 пр. – ISBN 978-966-622-287-2.

#### 6. ДЕПОНОВАНІ НАУКОВІ РОБОТИ

**Ведернікова О. О.** Огляд методів та алгоритмів організації оперативного планування виробництва» [Текст] / О. О. Ведернікова, В. В. Миленький ; НТУУ «КПІ». – К., 2008. – 20 с. – Бібліогр.: с. 9. – Деп. в ДНТБ України 12.05.08, № 35. – Ук2008.

#### 7. СТАТТЯ зкниги або іншого разового видання

**Ярошук Л. Д.** Адаптивне керування процесом екструзії пластичних мас [Текст] / Л. Д. Ярошук, О. А. Жученко // Контроль і управління в складних системах (КУСС-2008): зб. наук. праць IX міжнар. конф. ; Вінниця, 21–24 жовтня 2008 р. – Вінниця: «Універсум-Вінниця», 2008. – С. 85–86. – Бібліогр.: с. 86. – ISBN 978-966-7591-31-1.

### ...із серіального видання

**Подустов М. О.** Масопередача в системі газ-рідина при сульфатуванні органічної сировини [Текст] / М. О. Подустов, В. І. Тошинський, О. А. Жученко, В. М. Петров // Наукові вісті НТУУ «КПІ». Сер. «Хімія та хім. технологія». – К.: НТУУ «КПІ», ВПІ ВПК «Політехніка», 2008. – № 1. – С. 128–131. – Бібліогр.: с. 131. – ISSN 1810-0546.

**Ладієва Л. Р.** Оптимізація плівкового апарату роторного типу за максимальною продуктивністю [Текст] / Л. Р. Ладієва, Т. П. Завялова // Автоматика. Автоматизація. Електричні комплекси та системи. – 2007. – № 2 (20). – С. 124–130. – Бібліогр.: с. 129–130. – ISSN 1810-0546.

### ...із серіального видання ІНОЗЕМНОЮ МОВОЮ

**Rheinberger Н. J.** Darwin's experimental natural history [Text] / Н. J. Rheinberger, L. P. McLaugh // J. Hist. Biol. – 1986. – Vol. 19, № 1. – P. 79–130. – ISSN 0305-9855.

## 8. ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ

**Лящук А. Я.** Основні поняття OLAP [Текст] / А. Я. Лящук, В. В. Миленський // Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології: Тези доповідей Другої науково-практичної конференції студентів; Київ, НТУУ «КПІ», 23 квітня 2009 р. – К.: НТУУ «КПІ», 2009. – 44 с. : іл. – Бібліогр.: в кінці тез. – С. 19-20.

**Ліщенко В. М.** Система автоматичного керування процесом нейтралізації на базі мікропроцесора [Текст] / В. М. Ліщенко, Р. А. Осіпа // «Інформаційні технології та автоматизація»: Друга Всеукр. наук.-практ. конф., Одеса, Національна академія харчових технологій 15–16 жовт. 2009 р. : тези доп. – Одеса : ОНАХТ, 2009. – 119 с. : іл. – Бібліогр.: в кінці тез. – С. 61–62.

## 9. ПРОМИСЛОВІ КАТАЛОГИ

Продукція «МІКРОЛ» для промислової автоматизації підприємств [Текст] : каталог : розробник і виробник підприємство «МІКРОЛ». – Івано-Франківськ, 2007. – 70 с. – 1000 пр.

## 10. ЕЛЕКТРОННІ ВИДАННЯ

Методичні рекомендації до виконання дипломного проекту освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр» для студентів спеціальності «Хімічна технологія неорганічних речовин» хіміко-технологічного факультету [Текст] / І. М. Астрелін, А. Л. Концевой, Ю. В. Князєв, М. В. Лукінюк // Електронне видання, свід. НМУ №Е8/9-057, 2009-11-09. – НТУУ «КПІ», 2009. – 64 с.

## 11. ЕЛЕКТРОННИЙ РЕСУРС

(ПОСИЛАННЯ НА ІНТЕРНЕТ-ДЖЕРЕЛО)

**Лукінюк М. В.** ОБЕРЕЖНО: МІФИ! Спроба системного підходу до висвітлення фальшувань історії України: монографія [Електронний ресурс] / КНУ ім. Т. Г. Шевченка; Переднє сл. І. Дзюби. – К.: Вид-во імені Олени Теліги, 2003. – 576 с. – Бібліогр.: с. 540–573. – 1000 пр. – ISBN 966-7018-84-9. – Режим доступу: <http://ukrlife.org/main/uacrim/obermif0.htm>, вільний. – Загол. з екрана. – Мова укр.

## Метрологічні характеристики окремих ЗВТ [1, 2]

Таблиця Д4.1. ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРМОПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ОПОРУ СТАНДАРТНИХ ТИПІВ

Назва характеристики	Тип ТО		
	Платинові (ТОП)	Мідні (ТОМ)	Нікелеві (ТОН)
Діапазон вимірюваних температур, °С	(-260)...850 (+1100 – для одиночного виробництва)	(-200)...200	(-60)...180
Клас допуску	Граничнодопустимі відхилення опору від НСХ для класів допуску, °С		
<i>A</i>	$\pm(0,15 + 0,002  t )$ від (-220) до 850 °С	$\pm(0,15 + 0,002  t )$ від (-50) до 120 °С	
<i>B</i>	$\pm(0,3 + 0,005  t )$ від (-220) до 1100 °С	$\pm(0,25 + 0,0035  t )$ від (-200) до 200 °С	
<i>C</i>	$\pm(0,6 + 0,008  t )$ від (-100) до 300 °С та від 850 до 1100 °С	$\pm(0,5 + 0,0065  t )$ від (-200) до 200 °С	$\pm(0,3 + 0,0165  t )$ від (-60) до 0 °С; $\pm(0,3+0,008  t )$ від 0 до 180 °С

*Примітки.*

1.  $t$  – значення вимірюваної температури, °С.
2. Допустимі відхилення опору від НСХ ТО для вимірювання температури нижче мінус 220 °С і поверхневих ТО встановлено в технічних умовах на ТО конкретного типу.
3. Робочий діапазон ТО конкретного типу може включати частину діапазону вимірюваних температур, а також бути диференційованим за класом допуску ТО. Крім робочого діапазону, у технічних умовах на ТО конкретного типу може бути встановлено номінальне значення температури застосування.

Таблиця Д4.2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ОКРЕМИХ ТЕРМОПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ОПОРУ

Тип ТО	Позначення НСХ	Діапазон вимірювання, °С	Область застосування	Клас допуску
ТСМ-1388	50М	(-50)...120	Рідкі та газоподібні середовища	С
ТСП - 1287	50П, 100П	0...500		В
ДТВ-038М	50М	30...180	Поверхня металевих валків	С

**Таблиця Д4.3. МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРМОПЕРЕТВОРЮВАЧІВ  
ОПОРУ З УНІФІКОВАНИМ ВИХІДНИМ СИГНАЛОМ**

Тип ТО	Діапазон вимірювання, °С	Граничнодопустима основна похибка, %	Робочий тиск, МПа	Довжина монтажної частини L, м
1	2	3	5	6
ТСПУ-0288	(-200) ...50; 150...200; (-100)...50; 200...300, 200...600	<b>1</b>	25; 50 – у разі застосування захисної арматури зі сталі 12Х18Н10Т	100; 120; 160; 200; 250; 320; 400; 630; 800; 1000
ТСПУ-0288	200...400	<b>0,25; 0,5</b>		
ТСПУ-0288	(-50)...50; 0...100;	<b>0,25; 0,5</b>		
ТСМУ-0288	0...200	<b>0,5; 1</b>		
ТСПУ-0288	0...50	<b>0,5; 1</b>		
ТСМУ-0288	0...50	<b>1; 1,5</b>		
ТСМУ-0288	50...100; 100...150	<b>1; 1,5</b>		
ТСПУ-0289	(-200)...50; (-100)...50	<b>0,7</b>		200; 250; 320; 400; 500; 1250
ТСПУ-0289 ТСМУ-0289	(-50)...50; 0...200			
ТСПУ-0289 ТСМУ-0289	(-25)...25	<b>1</b>		
ТСПУ-0289 ТСМУ-0289	0...50	<b>1</b>		
ТСПУ-0289	200...300			
ТСМУ-0289 ТСПУ-0289	150...200	<b>2,5</b>		
ТСПУ-0388	(-200)...50; (-100)...50; 150...200; 200...300; 200...600	<b>1</b>		
ТСПУ-0388	(-50)...50; 0...100; 0...200	<b>0,25; 0,5</b>		
ТСМУ-0388	50...100; 100...150	<b>1; 1,5</b>		

**Таблиця Д4.4. МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ**

Вид лінії зв'язку	Клас точності	Джерело
електрична	0,4	МР ВНТП 115-80
пневматична	0,4	МР ВНТП 115-80



Таблиця Д4.5. ФОРМУЛИ ДЛЯ ОБЧИСЛЕННЯ ГРАНИЧНОДОПУСТИМИХ ВІДХИЛЕНЬ ТЕРМО-ЕРС ТЕРМОПАР

Термо-пара	Умовне позначення НСХ перетворення	Клас допуску	Діапазон вимірювання, °С	Граничнодопустимі відхилення, °С
1	2	3	4	5
ТПП	<i>S, R</i>	2	0...600; понад 600...1600	<b>1,5</b> <b>0,0025 t</b>
		1	0...1100; понад 1100...1600	<b>1,0</b> <b>1,0+0,003 (t – 1100)</b>
ТПР	<i>B</i>	3	600...800; понад 800...1800	<b>4,0</b> <b>0,005 t</b>
		2	600...1800	<b>0,0025 t</b>
ТХК	<i>L</i>	3	(-200)...(-100); понад (-100)...100	<b>1,5+0,01 t</b> <b>2,5</b>
		2	(-40)...300; понад 300...800	<b>2,5</b> <b>0,7+ 0,005 t</b>
ТХА	<i>K</i>	3	(-200)...166,7 понад (-166,7)...40	<b>0,015 t</b> <b>0,25</b>
		2	(-40)...333,4; понад 333,4...1300	<b>2,5</b> <b>0,0075 t</b>
		1	(-40)...375 понад 375...1300	<b>1,5</b> <b>0,004 t</b>
ТВР	<i>A</i>	3	1000...2500	<b>0,007 t</b>
		2	1000...2500	<b>0,005t</b>

Таблиця Д4.7. ПОВЕРХНЕВІ ТЕРМОПАРИ – ДСТУ 2857-94 (ГОСТ 6616-94)

Термопара	НСХ	Клас допуску	Діапазон вимірювання, °С	Граничнодопустимі відхилення, °С
ТХА-9909	<i>K</i>	2	-40...+700	<b>2,5</b>
ТХК-9911	<i>L</i>	2	-40...+260	<b>2,5</b>
ТХКП-ХVІІІ			0...+400	

Таблиця Д4.8. МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОКРЕМИХ ВИДІВ ЗВТ

	Тип ЗВТ	Діапазон вимірювання (макс.)	Гранично-допустима основна похибка	Клас точності
1	2	3	4	5
1	Дифманометр тензометричний з пропорційною функцією перетворення <b>«Сафір-М»</b> , $I_{\text{вих}} = 0 \dots 5$ мА			<b>0,25</b>
2	Дифманометр безшкальний пневматичний <b>13ДЦ11</b> із <b>квадратичною</b> функцією перетворення, $P_{\text{вих}} = 20 \dots 100$ кПа	<b>**</b>		<b>1</b>
3	Діафрагма камерна ДКС		<b>1,5 %</b> (зведена)	
4	Рівнемір буйковий <b>УБ-П</b> , $P_{\text{вих}} = 20 \dots 100$ кПа	0...4, 0...16 м		<b>1,5</b>
5	Рівнемір радарний вибухозахищений <b>УЛМ-31А1</b> , $I_{\text{вих}} = 4 \dots 20$ мА; цифровий інтерфейс RS-485	0,6...30 м	<b>±0,001 м</b>	
6	Рівнемір щуповий для сипких і пилоподібних матеріалів <b>УРМ-10А</b> , $I_{\text{вих}} = 0 \dots 5$ мА, цифровий інтерфейс RS-485	0...20 м	<b>±0,05 м</b>	
7	Витратомір електромагнітний <b>ПРЭМ-32</b> для вимірювання витрати рідини, $I_{\text{вих}} = 4 \dots 20$ мА; цифровий інтерфейс RS-485	0...30; 0...72; 0...120; 0...280 0...630 м <sup>3</sup> /год		<b>1</b>
8	Витратомір газу калориметричний безконтактний <b>ИРГ-1000</b> ; $I_{\text{вих}} = 0(4) \dots 20$ мА	0...0,06 м <sup>3</sup> /год		<b>2,5</b>
9	Витратомір-ротаметр з пневматичною дистанційною передачею та місцевою шкалою показань <b>РПФ-16ЖУЗ</b> для вимірювання витрати рідини, $P_{\text{вих}} = 20 \dots 100$ кПа	0...16 м <sup>3</sup> /год		<b>2,5</b>
10	<b>рН-метр</b> промисловий у складі первинного вимірювального перетворювача магістрального виконання <b>ДМ-5М</b> (заглибного – ДПг-4М) та проміжного перетворювача <b>П-215М</b> , $I_{\text{вих}} = 0 \dots 5$ мА; цифровий інтерфейс RS-485	(-1)...+14		<b>1</b>
11	Віскозиметр вібраційний низькочастотний <b>ВВН-8-021</b> , $I_{\text{вих}} = 0 \dots 5$ мА	10...200 Па·с·кг/м <sup>2</sup>		<b>2,5</b>
12	Газоаналізатори автоматичні стаціонарні неперервної дії <b>ЭССА</b> , $I_{\text{вих}} = 4 \dots 20$ мА; цифровий інтерфейс RS-485	по Cl <sub>2</sub> : 0...50 мг/м <sup>3</sup>		<b>20</b>
		по CO: 0...20 мг/м <sup>3</sup>		<b>15</b>
		по CH <sub>4</sub> : 0...20 мг/м <sup>3</sup>		<b>15</b>
		по H <sub>2</sub> S: 0...10 мг/м <sup>3</sup>		<b>20</b>
		по NH <sub>3</sub> : 0...20 мг/м <sup>3</sup>		<b>20</b>
		по NO: 0...30 мг/м <sup>3</sup>		<b>15</b>
		по O <sub>2</sub> : 0...30 мг/м <sup>3</sup>		<b>2,5</b>

\* Граничні перепади тиску **дифманометрів** (Па, кПа, МПа) вибирають зі стандартного ряду:  $(1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,3) \times 10^n$ , де  $n$  – будь-яке ціле додатне число або нуль.

\*\* Верхню границю вимірювань **ДИФМАНОМЕТРІВ-ВИТРАТОМІРІВ** (м<sup>3</sup>/год, кг/год) вибирають зі стандартного ряду чисел:  $(1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0) \times 10^n$ , де  $n$  – будь-яке ціле додатне число або нуль.

1	2	3	4	5
13	Густиномір рідини автоматичний пневматичний поплавковий <b>ПАЖ-303</b> , $P_{\text{вих}} = 20 \dots 100$ кПа	750...1500 кг/м <sup>3</sup>		<b>0,2</b>
14	Густиномір рідини вібраційний проточний <b>ПЛОТ-3М</b> , $I_{\text{вих}} = 4 \dots 20$ мА; цифровий інтерфейс RS-485	1200...1600 кг/м <sup>3</sup>		<b>0,1</b>
15	Концентратомір рідин кондуктометричний <b>АЖК-3101М.К</b> у складі первинного вимірювального перетворювача та блока обробки, індикації та сигналізації, $I_{\text{вих}} = 4 \dots 20$ мА; цифровий інтерфейс RS-485	0...99 %		<b>5</b>
16	Перетворювач нормувальний одноканальний <b>Ш79</b> , <b>вхідні сигнали:</b> 0...5 мА, 0...10 В, а також від ТП НСХ <i>B, K, L, S, R</i> та ТО НСХ 50П, 100П, 50М, 100М; $I_{\text{вих}} = 0 \dots 5$ мА, $U_{\text{вих}} = 0 \dots 10$ В; цифровий інтерфейс RS-485			<b>0,25</b>
17	Перетворювач пневмоелектричний <b>МТМ 4000PI</b> , $P_{\text{вх}} = 20 \dots 100$ кПа; $I_{\text{вих}} = 0 \dots 5$ (0...20 мА, 4...20 мА); $P_{\text{мах}} = 400$ кПа; $P_{\text{жив}} = 140$ кПа; діапазон робочих температур 5...50 °С; монтаж на Din-рейку; індикація вимірюваного параметра; інтерфейс RS-485			<b>0,5</b>
18	Перетворювач електропневматичний <b>МТМ 810</b> , $I_{\text{вх}} = 0 \dots 5$ мА, $P_{\text{вих}} = 20 \dots 100$ кПа			<b>0,5</b>
19	Аналого-цифровий перетворювач <b>АЦП2</b> перетворює в цифрову форму 2 гальванічно розділених вхідних уніфікованих сигнали 0...5 мА, 0(4)...20 мА, 0...10 В			<b>0,25</b>
20	Цифро-аналоговий перетворювач <b>ЦАП4</b> перетворює цифровий код у вихідні уніфіковані аналогові сигнали: 0...5 мА, 0...20 мА, 4...20 мА, 0...10 В; кількість каналів – 4			<b>0,5</b>
21	Автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад з пристроєм сигналізації та блоком добування квадратного кореня <b>ДИСК-250</b> ; <b>вхідні сигнали:</b> 0...50 мВ, 0...100 мВ, 0...5 В, 0...10 В, 0...5 мА, 4...20 мА; НСХ перетворювачів: термоелектричних – <i>B, K, L, S</i> , опору – 50П, 100П, 50М, 100М ( <b>вх. сигнали – аналогові</b> )	0...600 °С		<b>0,5</b>
22	Прилад вторинний пневматичний показувальний, реєструвальний (система СТАРТ) <b>ФК0071</b> , $P_{\text{вх}} = 20 \dots 100$ кПа			<b>0,5</b>

23	Прилад вторинний пневматичний показувальний (система СТАРТ) ПКП.1П із пристроєм пневматичної сигналізації, $P_{вх} = 20 \dots 100$ кПа			<b>0,5</b>
24	Індикатор технологічний мікропроцесорний (цифровий) двоканальний ІТМ-12; вхідні сигнали: дискретні; цифрова індикація; технологічна сигналізація; цифровий інтерфейс RS-485			<b>0,2</b>



### 3. Автоматичні електронні потенціометри

#### 3.1. Принцип роботи і будова

Автоматичні електронні потенціометри застосовуються для вимірювання, запису, сигналізації і автоматичного регулювання технологічних параметрів, значення яких перетворюються датчиками в напругу постійного струму. Ці прилади працюють у комплекті з термоелектричними перетворювачами (ТП), радіаційними та фотоелектричними пірометрами, а також застосовуються для вимірювання концентрації водневих іонів у розчинах за величиною рН.

Сутність методу вимірювання полягає у зрівноваженні (компенсації) вимірюваної ЕРС відомим спадом напруги на опорі реохорда від джерела постійного струму – стабілізованого джерела струму напругою 1 В.

На рис. 3.1 наведено принципову схему електронного автоматичного потенціометра типу КСП. Він складається з вимірювального блока, виконаного у вигляді незрівноваженого моста, що складається із резисторів з опорами  $R_p$ ,  $R_{ш}$ ,  $R_B$ ,  $R_{ВП}$ ,  $R_K$ ,  $R_M$ ,  $R_{П}$ ,  $R_1$ , джерела стабілізованого живлення ДЖС, електронного фазочутливого напівпровідникового підсилювача змінного струму ЕП типу У1–01, реверсивного електродвигуна РД, синхронного електродвигуна СД, шкали зі стрілкою та пером для запису на діаграмному папері вимірюваної температури в часі.

Джерело стабілізованого живлення типу ИПС-3 вимірювальної схеми живиться від силового трансформатора підсилювача ЕП напругою 6,3 В змінного струму. З виходу ДЖС знімається напруга 5 В постійного струму. Для зменшення впливу паразитних напруг використовуються RC-фільтри, що складаються з резисторів  $R_{\phi 1}$ ,  $R_{\phi 2}$  по 50 Ом кожен і конденсаторів  $C_{\phi 1}$  і  $C_{\phi 2}$ , ємністю по 510 мкф кожен.

Реверсивний асинхронний двигун типу РД–32 потужністю 12 Вт має обмотку збудження ОЗб, яка живиться напругою 220 В з частотою 50 Гц, і

обмотку керування ОК, на яку напруга подається від фазочутливого напівпровідникового підсилювача ЕП. Послідовно з обмоткою збудження ОЗб увімкнено фазозсувний конденсатор  $C_2$ , а паралельно з обмоткою керування ОК та обмоткою збудження ОЗб – згладжувальні конденсатори  $C_1$  і  $C_3$  ємністю по 0,5 мкф кожен. Привід діаграмного паперу здійснюється синхронним двигуном типа ДСД–П1 потужністю 13 Вт, який живиться напругою 220 В.

До складу напівпровідникового підсилювача ЕП типу У1–01 входить електромагнітний вібраційний перетворювач ВП, що перетворює постійний струм, який надходить із вимірювальної схеми потенціометра, у змінний струм частотою 50 Гц.

Опори вимірювального блока потенціометра мають таке призначення:

$R_p$  – опір реохорда; при виготовленні з манганінового дроту для всіх типів потенціометрів становить 130 Ом; при виготовленні з палладій-вольфрамового сплаву ПлВ-20 – 270 Ом;

$R_{ш}$  – опір шунта реохорда (для підгонки його опору);

$R_B$  – опір кінця шкали (верхньої границі вимірювання) потенціометра;

$R_{ВП}$  – опір підгонки кінця шкали;

$R_H$  – опір початку шкали (нижньої границі вимірювання) потенціометра (для встановлення приладу «на нуль»);

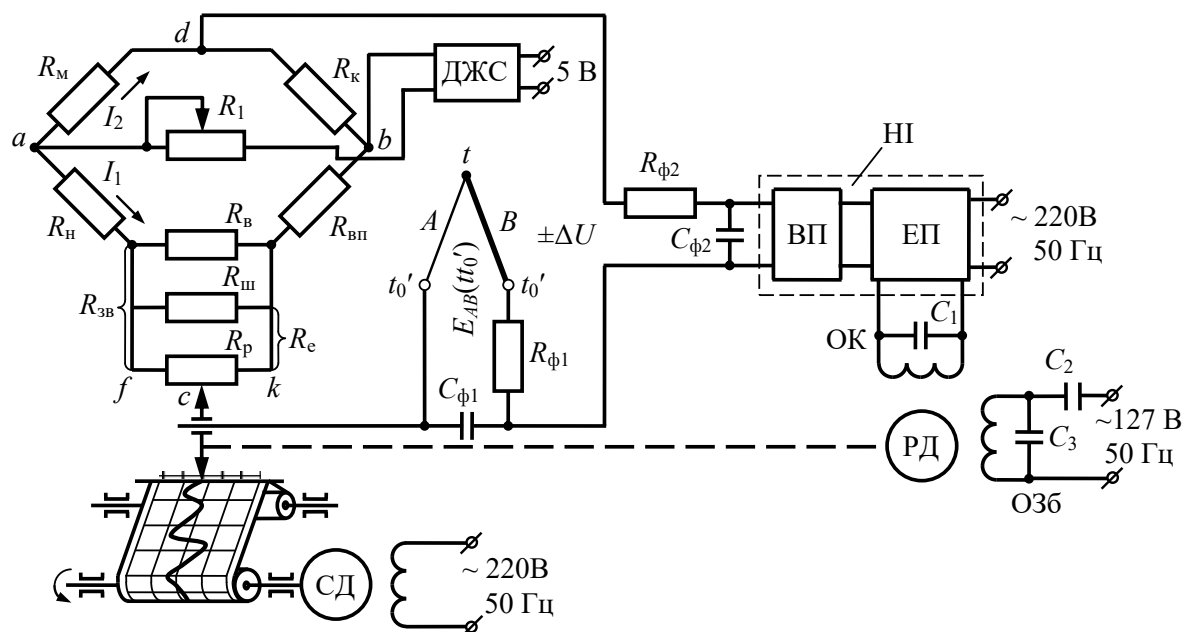
$R_K$  – опір встановлення робочого струму;

$R_M$  – опір автоматичної компенсації ЕРС термоелектричного перетворювача (її називають термо-ЕРС) при відхиленні температури його вільних кінців  $t_0'$  від температури градування  $t_0$ , виготовлене з мідного або нікелевого дроту;

$R_1$  – опір зниження напруги живлення вимірювальної схеми потенціометра від джерела стабілізованого живлення з 5 В до 1 В.

Всі резистори вимірювальної схеми виготовлені з манганіну, резистор  $R_M$  – з мідного або нікелевого проводу.

Живлення силового кола потенціометра здійснюється від мережі змінного струму напругою 127 або 220 В і частотою 50 Гц .



3.1. Принципова схема електронного автоматичного потенціометра

Робота автоматичного електронного потенціометра полягає в наступному. Під впливом вимірюваної температури в термопарі<sup>1</sup>  $AB$  (рис. 3.1) виникає термо-ЕРС. При цьому в плечах вимірювального моста протікають струми  $I_1$  і  $I_2$ , внаслідок чого між точками  $c$  і  $d$  вимірювальної діагоналі виникає розбаланс напруги  $\Delta U$ . При зміні температури  $t$  робочого (гарячого) спаю термопарі в ній виникає якась (поки що невідома) термо-ЕРС  $E_x$ . Напруга розбалансу  $\pm \Delta U$  у вимірювальній діагоналі  $cd$  надходить на фазочутливий підсилювач, де посилюється до напруги та потужності, достатніх для приведення до обертання реверсивного двигуна.

<sup>1</sup> У практиці вимірювань терміни *термопара* та *термоелектричний перетворювач* зазвичай використовують як синоніми. Однак це не зовсім так. Ось як ці дефініції подає ДСТУ 3307–96 «Перетворювачі термоелектричні. Подовжувальні та компенсаційні проводи. Допуски та система ідентифікації»: **термопара** – два провідники з різних матеріалів, які з'єднані на одному кінці й утворюють частину пристрою, що використовує для вимірювання температури термоелектричний ефект; **термоелектричний перетворювач (ТП)** – термоперетворювач, який містить термопару і дія якого базується на використанні термо-ЕРС термопарі від температури.



Ротор двигуна через редуктор механічно сполучений із повзунком реохорда і при своєму обертанні змінює опір реохорда  $R_p$ , зрівноважуючи вимірювальну схему потенціометра. Положення повзунка реохорда визначає значення вимірюваної термо-ЕРС  $E_x$  термопари. Одночасно реверсивний двигун переміщує стрілку на шкалі приладу та перо на діаграмному папері. Якщо до складу потенціометра входить автоматичний регулятор, то реверсивний двигун переміщує також механізм регулятора, який виробляє керувальний вплив виконавчому механізму регулятора. Напрямок обертання реверсивного двигуна залежить від напрямку фази сигналу  $\pm \Delta U$ , що надходить від вимірювальної схеми при підвищенні або пониженні вимірюваної температури.

Живлення силового кола потенціометрів здійснюється від мережі змінного струму напругою 220 В і частотою 50 Гц.

Автоматичні електронні потенціометри бувають таких типів<sup>2</sup>:

КСП2 – показувальні, із записом на прямокутній діаграмі, одноточкові і багатоточкові; ширина діаграми 160 мм; розміри корпусу: висота 320 мм, ширина 240 мм, глибина 492 мм; маса 20 кг; споживана потужність 30 ВА;

ДИСК 250 – показувальні, із записом на дисковій діаграмі в полярних координатах, одноточкові; розміри корпусу: висота 320 мм, ширина 320 мм, глибина 260 мм; маса 12 кг; споживана потужність 25 ВА.

Автоматичні електронні потенціометри можуть виготовлятися без регулювального пристрою, з дво- і трипозиційним електричним регулювальним пристроєм, з 10 і 100 %-им реостатним задатчиком, а також із пневматичним пропорційно-інтегральним регулювальним пристроєм.

Клас точності потенціометрів лежить в межах 0,25–0,5 %.

---

<sup>2</sup> Наразі компенсаційні самописні прилади серій КС1, КС3 та КС4 вже не виробляються, однак ще використовуються вироблені в минулому.

### 3.2. Розрахунок вимірювальної схеми потенціометра

Для розрахунку вимірювальної схеми потенціометра повинні бути задані такі початкові дані: тип потенціометра, його номінальна статична характеристика, верхня та нижня границі вимірювання температури, межі зміни температури вільних кінців ТП, температура в корпусі потенціометра, опір реохорда, клас точності, тип ТП та його градуювання.

Вимірювальна схема потенціометра розраховується за мінімальною і максимальною ЕРС, які розвиваються термоелектричним перетворювачем для заданих нижньої та верхньої границь вимірювання температури.

**Порядок розрахунку.** За градуювальною таблицею (номінальна статична характеристика – НСХ) для заданого ТП знаходять значення ЕРС на початку шкали  $E_{\min}$  та в кінці шкали  $E_{\max}$  (додаток 33).

Визначають опір автоматичної компенсації температури вільних кінців ТП за формулою

$$R_m = \frac{E_{t_2} - E_{t_1}}{\alpha I_2 (t_2 - t_1)}, \quad (2.1)$$

де  $E_{t_1}$  і  $E_{t_2}$  – ЕРС ТП для заданих температур вільних кінців, які знаходять за його НСХ (додаток 33), мВ;  $I_2$  – сила струму, яку приймають рівною 1–2 мА;  $\alpha$  – температурний коефіцієнт опору мідного дроту (дорівнює  $4,24 \cdot 10^{-3}$  1/град);  $t_2$  і  $t_1$  – температури вільних кінців ТП.

Визначають опір початку шкали  $R_n$  з умови, що повзунк реохорда перебуває в точці  $f$  (рис. 3.1) і вимірювана ЕРС  $E_{\min}$  зрівноважується спадом напруги між точками  $a$  і  $k$  від струму  $I_1$ , тобто

$$E_{\min} = I_1 R_n - I_2 R_m, \quad (2.2)$$

звідки

$$R_n = \frac{E_{\min} + I_2 R_m}{I_1},$$

де  $I_1$  – сила струму, яка приймається рівною 2...4 мА.

Розраховують опір кінця шкали приладу  $R_B$  за зведеним опором реохорда  $R_{зв}$  з умови, що повзунок реохорда повинен бути в точці  $k$ , а вимірювана різниця потенціалів  $E_{max} - E_{min}$  зрівноважується спадом напруги на зведеному опорі реохорда. З огляду на це зведений опір реохорда (Ом) розраховують за формулою

$$R_{зв} = (E_{max} - E_{min}) / I_1. \quad (2.3)$$

Обчисливши  $R_{зв}$ , визначають опір верхньої границі вимірювання  $R_B$  за формулою

$$R_{зв} = \frac{E_{max} - E_{min}}{I_2}, \quad (2.4)$$

де  $R_e$  – еквівалентний опір реохорда (Ом), що складається з паралельно з'єднаних опорів  $R_p$  і  $R_{ш}$  та визначається за формулою

$$R_e = \frac{R_{ш} R_p}{R_{ш} + R_p}. \quad (2.5)$$

Для всіх приладів  $R_e$  – стандартна величина, що дорівнює 90 Ом.

Відтак визначають опір шунта реохорда (Ом)

$$R_{ш} = \frac{R_p R_e}{R_p - R_e}. \quad (2.6)$$

Далі визначають опір підгонки верхньої границі вимірювання за формулою

$$R_{вп} = \frac{U_{жив} - E_{max}}{I_1}. \quad (2.7)$$

де  $U_{жив}$  – напруга живлення вимірювальної схеми ( $U_{жив} = 1$  В).

Опір  $R_k$  встановлення робочого струму та опір  $R_1$  зниження напруги джерела живлення вимірювальної схеми до 1 В розраховують за формулами

$$R_k = \frac{U_{жив}}{I_2}, \quad (2.8)$$

$$R_1 = \frac{U_{стаб} - U_{жив}}{I_1 + I_2}, \quad (7.9)$$

де  $U_{стаб}$  – напруга, що підводиться до вимірювальної схеми від ДЖС.

Мінімальний розбаланс напруги, що надходить на електронний підсилювач на виході вимірювальної схеми (мВ), беруть рівним  $0,05E_{\max}$  і визначають за формулою

$$\delta U_{\text{вих min}} = \frac{0,05k_T E_{\max}}{100}, \quad (7.10)$$

де  $k_T$  – клас точності приладу, %.

### 3.3. Конструктивний розрахунок реохорда

Реохорд являє собою круглу шину, на яку намотано манганіновий провід опору  $R_p$ .

Задаються питомим числом витків проводу  $n_{\text{пит}}$ , тобто числом витків, що припадають на 1 % шкали потенціометра. Зазвичай  $n_{\text{пит}}$  беруть рівним 12–16. Тоді загальне число витків

$$n = 100n_{\text{пит}}. \quad (7.11)$$

Довжина намотування опору реохорда  $L_p$

$$L_p = \pi D \frac{\varphi}{360}, \quad (7.12)$$

де  $D$  – діаметр реохорда;  $\varphi$  – центральний кут робочої частини намотування (зазвичай він дорівнює  $315^\circ$ ).

Діаметр намотувального проводу

$$d_{\text{пр}} = \frac{L_p}{n}. \quad (7.12)$$

З довідкових даних (Додаток 32) вибирають діаметр манганінового проводу та його опір  $r$ , що відповідає довжині одного метра проводу. Тоді загальна довжина потрібного намотувального дроту

$$L = \frac{R_p}{r}. \quad (7.12)$$

Діаметр шини реохорда, на яку намотується манганіновий провід, визначається за формулою

$$d_{\text{ш}} = \frac{l}{\pi} - d_{\text{пр}}. \quad (7.13)$$

де  $l = L / n$  – довжина одного витка проводу.

### 3.4. Приклад розрахунку потенціометра

Розрахувати вимірювальну схему автоматичного електронного потенціометра КСП2 для вимірювання температури від 0 до 400 °С. Потенціометр працює в комплекті з термоелектричним перетворювачем ТХК (НСХ  $L$ ). Клас точності потенціометра 0,5. Граничнодопустима температура вільних кінців ТП 0...60 °С. Температура в корпусі потенціометра 30 °С. Опір  $R_M$  температурної компенсації відхилення температури вільних кінців виготовлено з мідного дроту ( $\alpha = 4,24 \cdot 10^{-3}$  1/град). Реохорд виготовлено з манганинової проводу, опір реохорда становить 130 Ом, еквівалентний опір реохорда  $R_e = 90$  Ом; значення сили струму  $I_1 = 2$  мА, а  $I_2 = 1$  мА (рис. 3.1).

За градууювальною таблицею хромель-копелевого ТП (НСХ  $L$ ) (Додаток 33) знаходимо значення термо-ЕРС для 60 і 400 °С, які відповідно дорівнюють 4,00 і 31,49 мВ.

Визначаємо опір автоматичної компенсації зміни температури вільних кінців ТП за умови приведення термо-ЕРС вільних кінців до 0 °С:

$$R_{M_{0^\circ\text{C}}} = \frac{E_{t_2} - E_{t_1}}{\alpha I_2 (t_2 - t_1)} = \frac{4,00 - 0}{1 \cdot 4,24 \cdot 10^{-3} (60 - 0)} = 15,72 \text{ Ом.}$$

Визначаємо опір автоматичної компенсації зміни температури вільних кінців ТП, що відповідає температурі в корпусі потенціометра:

$$R_{M_{30^\circ\text{C}}} = R_{M_{0^\circ\text{C}}} (1 + \alpha t) = 15,72 (1 + 4,24 \cdot 10^{-3} \cdot 30) = 17,72 \text{ Ом.}$$

Опір встановлення нижньої границі вимірювання (початку шкали) потенціометра

$$R_H = \frac{E_{\text{min}} + I_2 R_M}{I_1} = \frac{0 + 0,001 \cdot 17,72}{0,002} = 8,86 \text{ Ом.}$$

Зведений опір реохорда

$$R_{зв} = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{I_1} = \frac{(31,49 - 0) \cdot 10^{-3}}{0,002} = 15,75 \text{ Ом.}$$

Опір верхньої границі вимірювання (кінця шкали) потенціометра

$$R_B = \frac{R_{зв} R_e}{R_e - R_{зв}} = \frac{15,75 \cdot 90}{90 - 15,75} = 19,1 \text{ Ом.}$$

Опір шунта

$$R_{ш} = \frac{R_p R_e}{R_p - R_e} = \frac{130 \cdot 90}{130 - 90} = 292,5 \text{ Ом.}$$

Опір підгонки верхньої границі вимірювання

$$R_{вп} = \frac{U_{жив} - E_{\max}}{I_2} = \frac{1 - 0,03149}{0,002} = 484,3 \text{ Ом.}$$

Опір установки робочого струму

$$R_k = \frac{U_{жив}}{I_1} = \frac{1}{0,001} = 1000 \text{ Ом.}$$

Опір зниження напруги живлення вимірювальної схеми від стабілізованого джерела живлення до 1 В

$$R_1 = \frac{U_{стаб} - U_{жив}}{I_1 + I_2} = \frac{5 - 1}{0,001 + 0,002} = 1333,3 \text{ Ом.}$$

Мінімальний розбаланс напруги на виході вимірювальної схеми

$$\delta U_{вих_{\min}} = \frac{0,05 k_T E_{\max}}{100} = \frac{0,05 \cdot 0,5 \cdot 31,49}{100} = 0,00787 \text{ мВ.}$$

Питоме число витків реохорда приймаємо  $n_{пит} = 13$  на 100 % шкали. Тоді число витків намотування реохорда

$$n = 100 n_{пит} = 100 \cdot 13 = 1300 \text{ витків.}$$

Діаметр реохорда приймаємо рівним 125 мм. Тоді довжина намотування опору реохорда

$$L_p = \pi D \frac{\varphi}{360} = 3,14159 \cdot 125 \cdot \frac{315}{360} = 343,6 \text{ мм,}$$

а діаметр намотувального проводу з ізоляцією

$$d_{\text{пр}} = \frac{L_p}{n} = \frac{343,6}{1300} = 0,264 \text{ мм.}$$

За додатком 32 вибираємо манганіновий провід діаметром 0,25 мм. Опір одного метра цього проводу  $r = 8,76 \text{ Ом}$ .

Загальна довжина намотувального дроту

$$L = \frac{R_p}{r} = \frac{130}{8,76} = 14,84 \text{ м.}$$

Довжина одного витка дроту

$$l = \frac{L}{n} = \frac{14,84}{1300} = 0,0114 \text{ м.}$$

Діаметр шини реохорда

$$d_{\text{ш}} = \frac{l}{\pi} - d_{\text{пр}} = \frac{0,0114}{3,14159} - 0,0025 = 0,00186 \text{ м.}$$

Приймаємо діаметр шини  $d_{\text{ш}} = 2 \text{ мм}$ .





## **4. Автоматичні електронні мости**

### **4.1. Принципи роботи і будова**

Автоматичні електронні рівноважні мости використовуються для вимірювання, запису, сигналізації та автоматичного регулювання технологічних параметрів, значення яких перетворюються відповідними датчиками у зміну опору електричному струмові. Ці пристрої працюють у комплекті з термоперетворювачами опору (ТО) – їх ще називають терморезистивними перетворювачами та термометрами опору – при вимірюванні температур, заміщують вторинні прилади у вимірюванні концентрації розчинів та газів за електропровідністю, а також у випадку реостатної дистанційної передачі показань первинних перетворювачів тощо.

В основі принципу дії рівноважних автоматичних електронних мостів лежить нульовий метод вимірювання опору датчика. При вимірюванні опору датчика рівновага мостової вимірювальної схеми порушується, і на вхід електронного підсилювача подається напруга розбалансу, яка після підсилення на фазочутливому електронному підсилювачі призводить до обертання реверсивного двигуна. Останній через редуктор сполучається з повзунком реохорда і зміщує його доти, доки не настане рівновага вимірювальної схеми. Таким чином, кожному значенню опору датчика відповідає цілком визначене положення повзунка реохорда. Одночасно реверсивний двигун переміщує стрілку по шкалі приладу, а перо – по діаграмному паперу. Якщо автоматичний міст має вбудований автоматичний регулятор, то реверсивний електродвигун переміщує механізм регулятора, який виробляє керувальний вплив на виконавчий механізм. Напрямок обертання реверсивного електродвигуна залежить від знаку сигналу, отриманого від вимірювальної схеми, що відбувається в разі збільшення чи зменшення вимірюваного параметра.

В практиці вимірювань використовуються мости змінного та постійного струмів. Мости змінного струму знаходять ширше використання, позаяк вони простіші та надійніші у використанні.

На рис. 4.1 зображена принципова схема рівноважного електронного автоматичного моста змінного струму. Його вимірювальна схема складається з таких опорів:

$R_p$  – опір реохорда; при виготовленні з манганінового дроту для всіх типів мостів становить 130 Ом; при виготовленні з палладій-вольфрамового сплаву ПЛВ-20 – 270 Ом;

$R_{ш}$  – опір шунта реохорда, що використовується для підстроювання еквівалентного опору реохорда;

$R_n$  – опір, яким задається початок шкали (нижня границя вимірювання);

$R_{n1}$  – змінний опір для підстроювання початку шкали під час градування приладу;

$R_b$  – опір, яким задається кінець шкали (верхня границя вимірювання);

$R_{b1}$  – змінний опір для підстроювання кінця шкали під час градування приладу;

$R_1$  і  $R_2$  – опори плечей моста;

$R_{об}$  – опір для обмеження струму живлення вимірювальної схеми;

$R_{л}$  – опори по 2,5 Ом, які забезпечують підгонку опору з'єднувальних провідників, що йдуть від термоперетворювача опору до вимірювального приладу;

$R_t$  – опір ТО.

Всі опори вимірювальної схеми, яка живиться змінним струмом з напругою 1,5 В, частотою 50 Гц від спеціальної обмотки силового трансформатора підсилювача ЕП, виготовлені з манганінового проводу.

В автоматичних електронних мостах використовується фазочутливий напівпровідниковий підсилювач змінного струму ЕП типу У2–01, який відрізняється від аналогічного підсилювача автоматичних потенціометрів тим, що не має віброперетворювача.

Реверсивний асинхронний двигун типу РД–32 потужністю 12 Вт має обмотку збудження ОЗб, яка живиться напругою 220 В з частотою 50 Гц, і об-

мотку керування ОК, на яку напруга подається від фазочутливого напівпровідникового підсилювача ЕП. Послідовно з обмоткою збудження ОЗб увімкнено фазозсувний конденсатор  $C_2$ , а паралельно з обмоткою керування ОК та обмоткою збудження ОЗб – згладжувальні конденсатори  $C_1$  і  $C_3$  ємністю по 0,5 мкф кожен. Привід діаграмного паперу здійснюється синхронним двигуном типа ДСД–П1 потужністю 13 Вт, який живиться напругою 220 В.

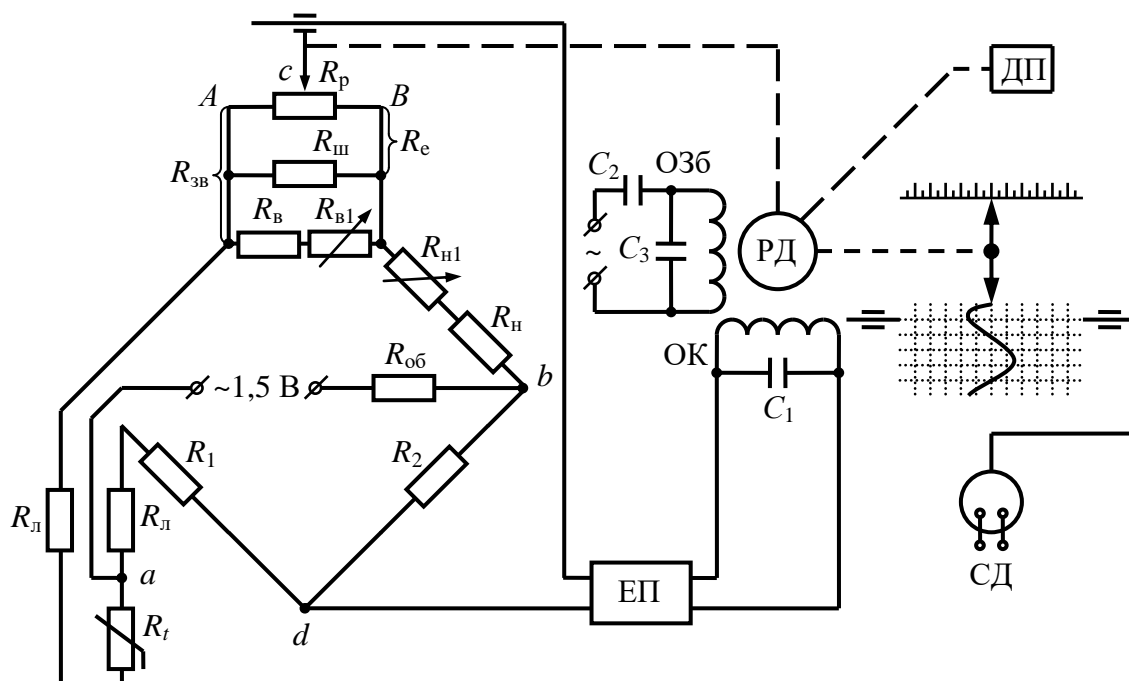


Рис. 4.1. Принципова схема автоматичного електронного зрівноваженого моста

У промисловості використовуються автоматичні електронні мости таких типів<sup>1</sup>:

КСМ2 – показувальні, із записом на прямокутній діаграмі, одноточкові і багатоточкові; ширина діаграми 160 мм; розміри корпусу: висота 320 мм, ширина 240 мм, глибина 492 мм; маса 20 кг; споживана потужність 30 ВА;

ДИСК 250 – показувальні, із записом на дисковій діаграмі в полярних координатах, одноточкові; розміри корпусу: висота 320 мм, ширина 320 мм, глибина 260 мм; маса 12 кг; споживана потужність 25 ВА.

<sup>1</sup> Наразі компенсаційні самописні прилади серій КС1, КС3 та КС4 вже не виробляються, однак ще використовуються вироблені в минулому.

Автоматичні електронні мости можуть виробляються без регулювального пристрою, з дво- та трипозиційним електричним регулювальним пристроєм, з 10 і 100 %-им реостатним задатчиком, а також із пневматичним пропорційно-інтегральним регулювальним пристроєм. Термоперетворювачі опору приєднуються до моста за трипровідною схемою.

Клас точності мостів лежить в межах 0,25–0,5 %.

#### 4.2. Розрахунок вимірювальної схеми моста

Для розрахунку вимірювальної схеми автоматичного електронного моста повинні бути задані такі початкові дані: тип моста, верхня та нижня границі вимірювання температури, клас точності, опір реохорда, номінальна статична характеристика (НСХ) ТО, тобто його градування; відстань від місця монтажу ТО до місця встановлення автоматичного електронного моста.

В основі розрахунку вимірювальної схеми лежить основна умова рівноваги електронного моста, а саме: добутки опорів, розташованих у протилежних плечах моста, рівні між собою.

Верхній границі вимірювання відповідає максимальний опір ТО  $R_{t_{\max}}$ , і повзунок реохорда має перебувати в точці  $A$  (див. рис. 4.1). Тоді рівняння рівноваги моста запишеться у вигляді:

$$R_2 (R_{t_{\max}} + R_{\text{л}}) = (R_1 + R_{\text{л}})(R_{\text{н}} + R_{\text{зв}}), \quad (5.1)$$

де  $R_{\text{зв}}$  – зведений опір реохорда.

Нижній границі вимірювання відповідає мінімальний опір ТО  $R_{t_{\min}}$ , і повзунок реохорда має перебувати в точці  $B$ . Рівняння рівноваги в такому разі буде мати вигляд:

$$R_2 (R_{t_{\min}} + R_{\text{л}} + R_{\text{зв}}) = (R_1 + R_{\text{л}}) R_{\text{н}}. \quad (5.2)$$

Для його обчислення зведеного опору реохорда від рівняння (5.1) віднімемо рівняння (5.2), отримаємо:

$$R_{зв} = \frac{R_2 (R_{t_{max}} - R_{t_{min}})}{R_1 + R_2 + R_{л}}. \quad (5.3)$$

Опір верхньої границі шкали прилада  $R_B$  визначається за величиною зведеного  $R_{зв}$  та еквівалентного  $R_e$  опорів реохорда. Зведений опір реохорда складається з паралельно з'єднаних опорів  $R_p, R_{ш}, R_B$ . Тому

$$R_{зв} = \frac{R_e R_B}{R_e + R_B}, \quad (5.4)$$

де

$$R_e = \frac{R_p R_{ш}}{R_p + R_{ш}}. \quad (5.5)$$

Звідси

$$R_B = \frac{R_e R_{зв}}{R_e - R_{зв}}. \quad (5.6)$$

Величина  $R_e$  у всіх автоматичних електронних мостах приведена до стандартного значення і дорівнює 90 Ом.

Величина опору  $R_1$  визначається з умови його рівності опорів датчика у середній точці діапазону вимірювань, тобто

$$R_1 = R_{t_{min}} + R_{л} + \frac{R_{t_{max}} - R_{t_{min}}}{2} + \frac{R_{t_{max}} - R_{t_{min}}}{4}. \quad (5.7)$$

Для збільшення чутливості вимірювальної схеми опір  $R_2$  беруть рівним опорів  $R_1$ . Значення опору початку шкали  $R_{п1}$  визначається з рівняння

$$R_{п1} = \frac{R_2 (R_{t_{min}} + R_{л} + R_{зв})}{R_1 + R_{л}}. \quad (5.8)$$

Величини змінних опорів підстроювання нижньої (початок шкали)  $R_{п1}$  та верхньої  $R_{в1}$  границь вимірювання приладу беруть рівними 10 % від величини опорів  $R_{п1}$  і  $R_{в1}$ .

Максимальна сила струму, що проходить через ТО, визначається за формулою

$$I_{\max} = \frac{U_{\text{жив}}}{R_{t_{\min}} + R_{\text{об}} + R_{\text{зв}} + R_{\text{л}} + R_{\text{н}}}. \quad (5.9)$$

де  $U_{\text{жив}}$  – напруга струму живлення вимірювальної схеми.

З міркувань запобігання самонагріванню ТО струмом живлення величина струму  $I_{\max}$  має не перевищувати 8 мА. Відповідно до цього з формули (5.9) знаходять величину опору обмеження струму живлення:

$$R_{\text{об}} = \frac{U_{\text{жив}}}{I_{t_{\max}}} - (R_{t_{\min}} + R_{\text{зв}} + R_{\text{л}} + R_{\text{н}}). \quad (5.10)$$

Опір вимірювальної схеми  $\Delta R$  визначається з умови рівноваги моста, коли опір ТО дорівнює опоріві початку шкали, за формулою

$$\Delta R = \frac{R_{\text{н}}(R_1 + R_{\text{л}}) - R_2(R_{\text{зв}} - R_{\text{л}})}{R_2}. \quad (5.11)$$

Мінімальний розбаланс напруги (мВ) на виході вимірювальної схеми визначають за формулою

$$\delta U_{\text{вих min}} = \frac{k_{\text{т}} I \Delta R}{100}, \quad (5.12)$$

де  $k_{\text{т}}$  – клас точності прилада, %;

$I$  – струм живлення, мА.

**Конструктивний розрахунок реохорда виконується так само, як і для автоматичного потенціометра (див. підрозд. 3.3).**

### 4.3. Приклад розрахунку моста

Розрахувати вимірювальну схему рівноважного електронного моста змінного струму типу КСМ-2 для вимірювання температури від 0 до 200 °С. Термометр опору платиновий (ТОП) з НСХ 100П та номінальним відношенням опорів  $W_{100} = 1,3910$  (додаток 34). Клас точності приладу 0,5. Опір реохорда  $R_p = 126$  Ом, еквівалентний опір  $R_e = 90$  Ом. Опір підгонки з'єднувальних проводів  $R_{\text{л}}$  – по 2,5 Ом кожний. Напруга живлення вимірювальної схеми 1,5 В, частота 50 Гц.

1. Визначимо опір шунта реохорда

$$R_{\text{ш}} = \frac{R_p R_e}{R_p - R_e} = \frac{130 \cdot 90}{130 - 90} = 292,5 \text{ Ом.}$$

2. Визначимо величини баластних опорів  $R_1$  і  $R_2$ . З градуовальної таблиці для термометра опору з НСХ 100П та  $W_{100} = 1,3910$  (додаток 34) знаходимо:

$R_t$  для температури  $0^\circ\text{C} - 100 \text{ Ом}$ ;

$R_t$  для температури  $200^\circ\text{C} - 177,05 \text{ Ом}$ ;

$$\begin{aligned} R_1 &= R_{t_{\min}} + R_{\text{л}} + \frac{R_{t_{\max}} - R_{t_{\min}}}{2} + \frac{R_{t_{\max}} - R_{t_{\min}}}{4} = \\ &= 100 + 2,5 + \frac{177,05 - 100}{2} + \frac{177,05 - 100}{4} = 160,29 \text{ Ом.} \end{aligned}$$

Опір  $R_2$  приймаємо рівним  $160,29 \text{ Ом}$ .

3. Зведений опір реохорда

$$R_{\text{зв}} = \frac{R_2 (R_{t_{\max}} - R_{t_{\min}})}{R_1 + R_2 + R_{\text{л}}} = \frac{160,29(177,05 - 100)}{160,29 + 160,29 + 2,5} = 38,23 \text{ Ом.}$$

4. Опір верхньої границі вимірювання

$$R_{\text{в}} = \frac{R_e R_{\text{зв}}}{R_e - R_{\text{зв}}} = \frac{90 \cdot 38,23}{90 - 38,23} = 66,46 \text{ Ом.}$$

5. Опір початку шкали приладу (нижньої границі вимірювання)

$$R_{\text{п}} = \frac{R_2 (R_{t_{\min}} + R_{\text{л}} + R_{\text{зв}})}{R_1 + R_{\text{л}}} = \frac{160,29(100 + 2,5 + 38,23)}{160,29 + 2,5} = 138,57 \text{ Ом. Ом.}$$

6. Підгінні опори початку та кінця шкали:

$$R_{\text{п1}} = 138,57 \cdot 0,1 = 13,86 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{в1}} = 66,46 \cdot 0,1 = 6,65 \text{ Ом.}$$

7. Максимальна сила струму живлення вимірювальної схеми

$$\begin{aligned} I_{\text{max}} &= \frac{U_{\text{жив}}}{R_{t_{\min}} + R_{\text{зв}} + R_{\text{л}} + R_{\text{п}}} = \\ &= \frac{1,5}{100 + 38,23 + 2,5 + 138,53} = 0,0054 \text{ В або } 5,4 \text{ мВ.} \end{aligned}$$

Позаяк отримана величина струму живлення  $I_{\max}$  менша 8 мА, то опір обмеження струму живлення  $R_{\text{об}}$  у вимірювальній схемі не потрібен.

8. Опір вимірювальної схеми  $\Delta R$

$$\begin{aligned}\Delta R &= \frac{R_{\text{н}}(R_1 + R_{\text{л}}) - R_2(R_{\text{зв}} - R_{\text{л}})}{R_2} = \\ &= \frac{138,57(160,29 + 2,5) - 160,29(38,23 - 2,5)}{160,29} = 105,00 \text{ Ом.}\end{aligned}$$

9. Мінімальний розбаланс напруги на виході вимірювальної схеми

$$\delta U_{\text{вих}_{\min}} = \frac{k_{\text{т}} I \Delta R}{100} = \frac{0,5 \cdot 0,0054 \cdot 105}{100} = 0,0028 \text{ В або } 2,8 \text{ мВ.}$$

10. Розрахунок реохорда виконати так само, як і для електронного автоматичного потенціометра (див. розділ 3).



Таблиця 1. Технічні характеристики мідних обмоткових проводів

Діаметр проводу без ізоляції, $d_{бi} \cdot 10^{-3}$ м	Опір 1000 м проводу при 20°C, Ом	Вага 1000 м проводу без ізоляції, кг	Максимальний діаметр проводу з ізоляці- єю, $d_m \cdot 10^{-3}$ м		
			ПЕЛ	ПЕВ-1	ПЕВ-2
0,03	24700	0,0063	0,04	--	--
0,04	13900	0,0112	0,05	--	--
0,05	8920	0,0175	0,065	0,070	--
0,06	6200	0,0252	0,075	0,080	0,09
0,07	4550	0,0343	0,085	0,090	0,10
0,08	3480	0,0448	0,095	0,100	0,11
0,09	2750	0,0567	0,105	0,110	0,12
0,10	2230	0,0700	0,12	0,125	0,13
0,11	1840	0,0847	0,13	0,135	0,14
0,12	1550	0,101	0,14	0,145	0,15
0,13	1320	0,118	0,15	0,155	0,16
0,14	1140	0,137	0,16	0,165	0,17
0,15	990	0,158	0,17	0,18	0,19
0,16	871	0,179	0,18	0,19	0,20
0,17	772	0,202	0,19	0,20	0,21
0,18	689	0,227	0,20	0,21	0,22
0,19	619	0,252	0,21	0,22	0,23
0,20	558	0,280	0,225	0,23	0,24
0,21	506	0,309	0,235	0,24	0,25
0,23	421	0,370	0,255	0,27	0,28
0,25	357	0,438	0,275	0,29	0,30
0,27	306	0,510	0,31	0,31	0,32
0,29	265	0,589	0,33	0,33	0,34
0,31	232	0,673	0,35	0,35	0,36
0,33	205	0,762	0,37	0,37	0,38
0,35	182	0,857	0,39	0,39	0,41
0,38	154	1,01	0,42	0,42	0,44
0,41	133	1,18	0,45	0,45	0,47
0,44	115	1,36	0,49	0,48	0,50
0,47	101	1,55	0,52	0,51	0,53
0,49	92,9	1,68	0,54	0,53	0,55
0,51	85,7	1,82	0,56	0,56	0,58
0,53	79,2	1,97	0,58	0,58	0,60
0,55	73,7	2,12	0,60	0,60	0,62
0,57	68,6	2,28	0,62	0,62	0,64
0,59	64,0	2,44	0,64	0,64	0,66
0,62	58,0	2,69	0,67	0,67	0,69
0,64	54,4	2,86	0,69	0,69	0,72
0,67	49,7	3,14	0,72	0,72	0,75
0,69	46,8	3,33	0,74	0,74	0,77
0,72	43,0	3,63	0,78	0,77	0,80
0,74	40,7	3,83	0,80	0,80	0,83
0,77	37,7	4,15	0,83	0,83	0,86
0,80	34,8	4,48	0,86	0,86	0,89
0,83	32,4	4,82	0,89	0,89	0,92

0,86	30,2	5,15	0,92	0,92	0,95
0,90	27,5	5,67	0,96	0,96	0,99
0,93	25,8	6,05	0,99	0,99	1,02
0,96	24,2	6,45	1,02	1,02	1,05
1,00	22,3	7,00	1,07	1,08	1,11
1,04	20,6	7,57	1,12	1,12	1,15
1,08	19,1	8,16	1,16	1,16	1,19
1,12	17,8	8,78	1,20	1,20	1,23
1,16	16,6	9,41	1,24	1,24	1,27
1,20	15,5	10,1	1,28	1,28	1,31
1,25	14,3	10,9	1,33	1,33	1,36
1,30	13,2	11,8	1,38	1,38	1,41
1,35	12,2	12,8	1,43	1,43	1,46
1,40	11,4	13,7	1,48	1,48	1,51
1,45	10,6	14,7	1,53	1,53	1,56
1,50	9,90	15,8	1,58	1,58	1,61
1,56	9,16	17,0	1,64	1,64	1,67
1,62	8,50	18,4	1,74	1,70	1,73

Таблиця 2. Технічні характеристики проводів високого опору

Діаметр проводу, $м \cdot 10^{-3}$	Площа перерізу, $м^2 \cdot 10^{-6}$	Манганін		Нікелін		Реотан		Константан		Фехраль		Ніхром	
		опір 1 м проводу при 20° С, ом	вага 100 м, кг $\cdot 10^{-3}$	опір 1 м проводу при 20° С, ом	вага 100 м, кг $\cdot 10^{-3}$	опір 1 м проводу при 20° С, ом	вага 100 м, кг $\cdot 10^{-3}$	опір 1 м проводу при 20° С, ом	вага 100 м, кг $\cdot 10^{-3}$	опір 1 м проводу при 20° С, ом	вага 100 м, кг $\cdot 10^{-3}$	опір 1 м проводу при 20° С, ом	вага 100 м, кг $\cdot 10^{-3}$
0,03	0,0007	606,0	0,58	566,0	0,62	662,0	0,62	693,0	0,6	---	---	1520,0	0,6
0,05	0,0020	220,0	1,59	204,0	1,73	240,0	1,70	250,0	1,8	---	---	550,0	1,6
0,07	0,0039	112,0	3,10	104,0	3,39	122,0	3,35	124,0	3,4	---	---	280,0	3,2
0,08	0,0050	85,4	4,10	79,5	4,43	93,4	4,75	97,4	4,5	---	---	208,0	4,1
0,10	0,0079	54,8	6,40	51,0	6,91	59,8	6,80	62,4	7,0	152,89	6,1	138,0	6,4
0,15	0,0177	24,3	14,40	22,6	15,60	26,6	15,4	27,7	15,7	67,20	13,8	61,2	14,5
0,20	0,0314	13,7	25,60	12,7	27,60	15,0	27,3	15,6	28,0	38,22	24,5	34,4	25,9
0,25	0,0791	8,76	40,0	8,14	43,40	9,57	42,7	9,98	43,7	24,44	38,2	22,1	40,3
0,30	0,0707	6,06	57,5	5,66	66,20	6,64	61,5	6,93	62,9	16,98	55,1	15,3	58,0
0,35	0,0962	4,47	78,2	4,16	84,60	4,88	83,7	5,09	85,6	12,47	75,0	11,3	78,5
0,40	0,1257	3,42	102,3	3,18	111,0	3,79	111,0	3,85	111,8	9,546	98,0	8,64	103,0
0,45	0,1590	2,71	129,5	2,53	140,0	2,95	138,0	3,08	141,5	7,547	124,0	6,78	130,4
0,50	0,1964	2,20	159,8	2,04	173,0	2,40	171,0	2,50	174,8	6,110	153,0	5,51	161,0
0,60	0,2827	1,52	230,1	1,37	249,0	1,65	246,0	1,73	251,6	4,246	221,0	3,82	231,8
0,70	0,3848	1,12	313,3	1,04	339,0	1,22	335,0	1,24	342,5	3,117	300,0	2,81	315,6
0,80	0,5027	0,854	409,2	0,795	443,0	0,934	438,0	0,974	447,4	2,387	392,0	2,16	412,2
0,90	0,6362	0,675	517,8	0,629	560,0	0,734	554,0	0,770	566,2	2,886	496,0	1,70	521,7
1,0	0,7854	0,548	693,3	0,510	691,0	0,598	683,0	0,624	699,0	1,528	612,0	1,38	644,0

## ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ<sup>1</sup>

### 1.1. Типи термоелектричних перетворювачів

Типи ТП, літерні позначення номінальних статичних характеристик (НСХ) ТП, орієнтовний хімічний склад матеріалів термоелектродів і діапазони вимірюваних температур мають відповідати наведеному у табл. Д1.1.

Таблиця Д1.1. Типи термоелектричних перетворювачів, їх основні характеристики

Тип ТП*	Літерне позначення НСХ		Матеріал термоелектродів**		Діапазон вимірюваних температур за довгочасного використання, °С	Гранична температура за короткочасного використання, °С
	до 01.01. 1995 р.	з 01.01. 1995 р.	позитивного	негативного		
1	2	3	4	5	6	7
ТПП 13 Платинородій-платинові (платина – 13 % родій/платина)	ПП(R)	R	Сплав платинородій ПР-13 (87 % Pt + 13 % Rh)	Платина (Pt)	0...1300	+1600
ТПП 10 Платинородій-платинові (платина – 10 % родій/платина)	ПП(S)	S	Сплав платинородій ПР-10 (90 % Pt + 10 % Rh)		0...1300	+1600
ТПР Платинородій-платинородієві (платина – 30 % родій/платина – 6 % родій)	ПР(B)	B	Сплав платинородій ПР-30 (70 % Pt + 30 % Rh)	Сплав платинородій ПР-6 (94% Pt + 6 % Rh)	+600...+1600	+1700
ТЗК Залізо-константанові (залізо/мідь – нікель)	ЗК(J)	J	Залізо (Fe)	Сплав константан (55 % Cu + 45 % Ni, Mn, Fe)	-200...+750	+900
ТМКн Мідь-константанові (мідь/мідь – нікель)	МК(T)	T	Мідь М1(Cu)	Сплав константан (55 % Cu + 45% Ni, Mn, Fe)	-200...+350	+400

<sup>1</sup> Відповідно до ДСТУ 2837-94 Перетворювачі термоелектричні. Номінальні статичні характеристики перетворення. – Чинний від 01.01.97.

Продовження табл. Д1.1

1	2	3	4	5	6	7
ТНН Ніхросил- нісилові (нікель – хром – крем- ній/нікель – кремній)	НН( <i>N</i> )	<i>N</i>	Сплав ніхросил [(83,49 – 84,89) % Ni + (13,7 – 14,7) % Cr + (1,2 – 1,6) % Si + 0,15 % Fe + 0,05 % C + 0,01% Mg]	Сплав нісил [(94,98 – 95,53) % Ni + + 0,02 % Cr + + (4,2 – 4,6) % Si + + 0,15 % Fe+ + 0,05% C+ + (0,05 – 0,2) % Mg]	–270...+1200	+1300
ТХА Хромель- алюмелеві (нікель – хром/нікель – алюміній)	ХА( <i>K</i> )	<i>K</i>	Сплав хромель Т НХ9,5 (90,5 % Ni + 9,5% Cr)	Сплав алюмель НМЦАК2-2-1 (94,5 % Ni + 5,5 % Al, Si, Mn, Co)	–200...+1200	+1300
ТХКн Хромель- константанові (нікель – хром/мідь – нікель)	ХК( <i>E</i> )	<i>E</i>	Сплав хромель ТНХ9,5 (90,5 % Ni + 9,5 % Cr)	Сплав константан (55 % Cu + 45 % Ni, Mn, Fe)	–200...+700	+900
ТХК Хромель- копелеві	ХК( <i>L</i> )	<i>L</i>		Сплав копель МНМЦ 43 – 0,5 (56 % Cu + 44 % Ni)	–200...+600	+800
ТМК Мідь-копелеві	МК( <i>M</i> )	<i>M</i>	Мідь М1 (Cu)	Сплав копель МНМЦ 43 – 0,5 (56 % Cu + 44 % Ni)	–200...+100	+100
ТСС Сильх-силінові	СС( <i>I</i> )	<i>I</i>	Нікелевий сплав сілх НХК 9-0,9 [(87,6 – 89,2) % Ni + (8,8 – 9,8) % Cr + (0,6 – 1,2) % Si + 1 % Mn, Fe]	Нікелевий сплав сілін НК 2,4 [(91,8 – 92,6) % Ni + (2,0 – 2,8) % Si + 1 % Mn, Fe]	0...+800	+800
ТВР Вольфрамений- вольфрамренієві	ВР( <i>A</i> )–1 ВР( <i>A</i> )–2 ВР( <i>A</i> )–3	<i>A</i> –1 <i>A</i> –2 <i>A</i> –3	Сплав вольфрам- реній ВР-5 (95 % W + 5 % Re)	Сплав вольфрам- реній ВР-20 (80 % W + 20 % Re)	0...+2200 0...+1800 0...+1800	+2500

\* У дужках наведено найменування типів ТП, ухвалені Міжнародною електротехнічною комісією.

\*\* Хімічний склад матеріалів термоелектродів – орієнтовний.

## 1.2. Номінальні статичні характеристики перетворення термопар термоелектричних перетворювачів

Значення термо-ЕРС НСХ перетворення термопар ТП залежно від діапазону вимірюваних температур мають відповідати наведеним у табл. Д1.2 – Д1.4.

**Таблиця Д1.2. Платинородій-платинові ТП (тип ТПП 13)**  
**Номінальна статична характеристика перетворення R**  
Залежність термо-ЕРС від температури

Темпе- ратура робочо- го кінця, °C	Термо-ЕРС, мВ, для температури, °C									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
-50	-0,226	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-40	-0,188	-0,192	-0,196	-0,200	-0,204	-0,208	-0,211	-0,215	-0,219	-0,223
-30	-0,145	-0,150	-0,154	-0,158	-0,163	-0,167	-0,171	-0,175	-0,180	-0,184
-20	-0,100	-0,105	-0,109	-0,114	-0,119	-0,123	-0,128	-0,132	-0,137	-0,141
-10	-0,051	-0,056	-0,061	-0,066	-0,071	-0,076	-0,081	-0,086	-0,091	-0,095
0	0,000	-0,005	-0,011	-0,016	-0,021	-0,026	-0,031	-0,036	-0,041	-0,046
0	0,000	0,005	0,011	0,016	0,021	0,027	0,032	0,038	0,043	0,049
10	0,054	0,060	0,065	0,071	0,071	0,082	0,088	0,094	0,100	0,105
20	0,111	0,117	0,123	0,129	0,135	0,141	0,147	0,153	0,159	0,165
30	0,171	0,177	0,183	0,189	0,195	0,201	0,207	0,214	0,220	0,226
40	0,232	0,239	0,245	0,251	0,258	0,264	0,271	0,277	0,284	0,290
50	0,296	0,303	0,310	0,316	0,323	0,329	0,336	0,343	0,349	0,356
60	0,363	0,369	0,376	0,383	0,390	0,397	0,403	0,410	0,417	0,424
70	0,431	0,438	0,445	0,457	0,459	0,466	0,473	0,480	0,487	0,494
80	0,501	0,508	0,516	0,523	0,530	0,537	0,544	0,552	0,559	0,566
90	0,573	0,581	0,588	0,595	0,603	0,610	0,618	0,625	0,632	0,640
100	0,647	0,655	0,662	0,670	0,677	0,685	0,693	0,700	0,708	0,715
110	0,723	0,731	0,738	0,746	0,754	0,761	0,769	0,777	0,785	0,792
120	0,800	0,808	0,816	0,824	0,832	0,839	0,847	0,855	0,863	0,871
130	0,879	0,887	0,895	0,903	0,911	0,919	0,927	0,935	0,943	0,951
140	0,959	0,967	0,976	0,984	0,992	1,000	1,008	1,016	1,025	1,033
150	1,041	1,049	1,058	1,066	1,074	1,082	1,091	1,099	1,107	1,116
160	1,124	1,132	1,141	1,149	1,158	1,166	1,175	1,183	1,191	1,200
170	1,208	1,217	1,225	1,234	1,242	1,251	1,260	1,268	1,277	1,285
180	1,294	1,303	1,311	1,320	1,329	1,337	1,346	1,355	1,363	1,372
190	1,381	1,389	1,398	1,407	1,416	1,425	1,433	1,442	1,451	1,460
200	1,469	1,477	1,486	1,495	1,504	1,513	1,522	1,531	1,540	1,549
210	1,558	1,567	1,575	1,584	1,593	1,602	1,611	1,620	1,629	1,639
220	1,648	1,657	1,666	1,675	1,684	1,693	1,702	1,711	1,720	1,729
230	1,739	1,748	1,757	1,766	1,775	1,784	1,794	1,803	1,812	1,821
240	1,831	1,840	1,849	1,858	1,868	1,877	1,886	1,895	1,905	1,914
250	1,923	1,933	1,942	1,951	1,961	1,970	1,980	1,989	1,998	2,008
260	2,017	2,027	2,036	2,046	2,055	2,064	2,074	2,083	2,093	2,102
270	2,112	2,121	2,131	2,140	2,150	2,159	2,169	2,179	2,188	2,198
280	2,207	2,217	2,226	2,236	2,246	2,255	2,265	2,275	2,284	2,294
290	2,304	2,313	2,323	2,333	2,342	2,352	2,362	2,371	2,381	2,391
300	2,401	2,410	2,420	2,430	2,440	2,449	2,459	2,469	2,479	2,488
310	2,498	2,508	2,518	2,528	2,538	2,547	2,557	2,567	2,577	2,587
320	2,597	2,607	2,617	2,626	2,636	2,646	2,656	2,666	2,676	2,686
330	2,696	2,706	2,716	2,726	2,736	2,746	2,756	2,766	2,776	2,786
340	2,796	2,806	2,816	2,826	2,836	2,846	2,856	2,866	2,876	2,886

*Продовження табл. Д1.2*

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
350	2,896	2,906	2,916	2,926	2,937	2,947	2,957	2,967	2,977	2,987
360	2,997	3,007	3,018	3,028	3,038	3,048	3,058	3,068	3,079	3,089
370	3,099	3,109	3,119	3,130	3,140	3,150	3,160	3,171	3,181	3,191
380	3,201	3,212	3,222	3,232	3,242	3,253	3,263	3,273	3,284	3,294
390	3,304	3,315	3,325	3,335	3,346	3,356	3,366	3,377	3,387	3,397
400	3,408	3,418	3,428	3,439	3,449	3,460	3,470	3,480	3,491	3,501
410	3,512	3,522	3,533	3,543	3,553	3,564	3,574	3,585	3,595	3,606
420	3,616	3,627	3,637	3,648	3,658	3,669	3,679	3,690	3,700	3,711
430	3,721	3,732	3,742	3,753	3,764	3,774	3,785	3,795	3,806	3,816
440	3,827	3,838	3,848	3,859	3,869	3,880	3,891	3,901	3,912	3,922
450	3,933	3,944	3,954	3,965	3,976	3,986	3,997	4,008	4,018	4,029
460	4,040	4,050	4,061	4,072	4,083	4,093	4,104	4,115	4,125	4,136
470	4,147	4,158	4,168	4,179	4,190	4,201	4,211	4,222	4,233	4,244
480	4,255	4,265	4,276	4,287	4,298	4,309	4,319	4,330	4,341	4,352
490	4,363	4,373	4,384	4,395	4,406	4,417	4,428	4,439	4,449	4,460
500	4,471	4,482	4,493	4,504	4,515	4,526	4,537	4,548	4,558	4,569
510	4,580	4,591	4,602	4,613	4,624	4,635	4,646	4,657	4,668	4,679
520	4,690	4,701	4,712	4,723	4,734	4,745	4,756	4,767	4,778	4,789
530	4,800	4,811	4,822	4,833	4,844	4,855	4,866	4,877	4,888	4,899
540	4,910	4,922	4,933	4,944	4,955	4,966	4,977	4,988	4,999	5,010
550	5,021	5,033	5,044	5,055	5,066	5,077	5,088	5,099	5,111	5,122
560	5,133	5,144	5,155	5,166	5,178	5,189	5,200	5,211	5,222	5,234
570	5,245	5,256	5,267	5,279	5,290	5,301	5,312	5,323	5,335	5,346
580	5,357	5,369	5,380	5,391	5,402	5,414	5,425	5,436	5,448	5,459
590	5,470	5,481	5,493	5,504	5,515	5,527	5,538	5,549	5,561	5,572
600	5,583	5,595	5,606	5,618	5,629	5,640	5,652	5,663	5,674	5,686
610	5,697	5,709	5,720	5,731	5,743	5,754	5,766	5,777	5,789	5,800
620	5,812	5,823	5,834	5,846	5,857	5,869	5,880	5,892	5,903	5,915
630	5,926	5,938	5,949	5,961	5,972	5,984	5,995	6,007	6,018	6,030
640	6,041	6,053	6,065	6,076	6,088	6,099	6,111	6,122	6,134	6,146
650	6,157	6,169	6,180	6,192	6,204	6,215	6,227	6,238	6,250	6,262
660	6,273	6,285	6,297	6,308	6,320	6,332	6,343	6,355	6,367	6,378
670	6,390	6,402	6,413	6,425	6,437	6,448	6,460	6,472	6,484	6,495
680	6,507	6,519	6,531	6,542	6,554	6,566	6,578	6,589	6,601	6,613
690	6,625	6,636	6,648	6,660	6,672	6,684	6,695	6,707	6,719	6,731
700	6,743	6,755	6,766	6,778	6,790	6,802	6,814	6,826	6,838	6,849
710	6,861	6,873	6,885	6,897	6,909	6,921	6,933	6,945	6,956	6,968
720	6,980	6,992	7,004	7,016	7,028	7,040	7,052	7,064	7,076	7,088
730	7,100	7,112	7,124	7,136	7,148	7,160	7,172	7,184	7,196	7,208
740	7,220	7,232	7,244	7,256	7,268	7,280	7,292	7,304	7,316	7,328
750	7,340	7,352	7,364	7,376	7,389	7,401	7,413	7,425	7,437	7,449
760	7,461	7,473	7,485	7,498	7,510	7,522	7,534	7,546	7,558	7,570
770	7,583	7,595	7,607	7,619	7,631	7,644	7,656	7,668	7,680	7,692
780	7,705	7,717	7,729	7,741	7,753	7,766	7,778	7,790	7,802	7,815
790	7,827	7,839	7,851	7,864	7,876	7,888	7,901	7,913	7,925	7,938
800	7,950	7,962	7,974	7,987	7,999	8,011	8,024	8,036	8,048	8,061
810	8,073	8,086	8,098	8,110	8,123	8,135	8,147	8,160	8,172	8,185
820	8,197	8,209	8,222	8,234	8,247	8,259	8,272	8,284	8,296	8,309

Продовження табл. Д1.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
830	8,321	8,334	8,346	8,359	8,371	8,384	8,396	8,409	8,421	8,434
840	8,446	8,459	8,471	8,484	8,496	8,509	8,521	8,534	8,546	8,559
850	8,571	8,584	8,597	8,609	8,622	8,634	8,647	8,659	8,672	8,685
860	8,697	8,710	8,722	8,735	8,748	8,760	8,773	8,785	8,798	8,811
870	8,823	8,836	8,849	8,861	8,874	8,887	8,899	8,912	8,925	8,937
880	8,950	8,963	8,975	8,988	9,001	9,014	9,026	9,039	9,052	9,065
890	9,077	9,090	9,103	9,115	9,128	9,141	9,154	9,167	9,179	9,192
900	9,205	9,218	9,230	9,243	9,256	9,269	9,282	9,294	9,307	9,320
910	9,333	9,346	9,359	9,371	9,384	9,397	9,410	9,423	9,436	9,449
920	9,461	9,474	9,487	9,500	9,513	9,526	9,539	9,552	9,565	9,578
930	9,590	9,603	9,616	9,629	9,642	9,655	9,668	9,681	9,694	9,707
940	9,720	9,733	9,746	9,759	9,772	9,785	9,798	9,811	9,824	9,837
950	9,850	9,863	9,876	9,889	9,902	9,915	9,928	9,941	9,954	9,967
960	9,980	9,993	10,006	10,019	10,032	10,046	10,059	10,072	10,085	10,098
970	10,111	10,124	10,137	10,150	10,163	10,177	10,190	10,203	10,216	10,229
980	10,242	10,255	10,268	10,282	10,295	10,308	10,321	10,334	10,347	10,361
990	10,374	10,387	10,400	10,413	10,427	10,440	10,453	10,466	10,480	10,493
1000	10,506	10,519	10,532	10,546	10,559	10,572	10,585	10,599	10,612	10,625
1010	10,638	10,652	10,665	10,678	10,692	10,705	10,718	10,731	10,745	10,758
1020	10,771	10,785	10,798	10,811	10,825	10,838	10,851	10,865	10,878	10,891
1030	10,905	10,918	10,932	10,945	10,958	10,972	10,985	10,998	11,012	11,025
1040	11,039	11,052	11,065	11,079	11,092	11,106	11,119	11,132	11,146	11,159
1050	11,173	11,186	11,200	11,213	11,227	11,240	11,253	11,267	11,280	11,294
1060	11,307	11,321	11,334	11,348	11,361	11,375	11,388	11,402	11,415	11,429
1070	11,442	11,456	11,469	11,483	11,496	11,510	11,524	11,537	11,551	11,564
1080	11,578	11,591	11,605	11,618	11,632	11,646	11,659	11,673	11,686	11,700
1090	11,714	11,727	11,741	11,754	11,768	11,782	11,795	11,809	11,822	11,836
1100	11,850	11,863	11,877	11,891	11,904	11,918	11,931	11,945	11,959	11,972
1110	11,986	12,000	12,013	12,027	12,041	12,054	12,068	12,082	12,096	12,109
1120	12,123	12,137	12,150	12,164	12,178	12,191	12,205	12,219	12,233	12,246
1130	12,260	12,274	12,288	12,301	12,315	12,329	12,342	12,356	12,370	12,384
1140	12,397	12,411	12,425	12,439	12,453	12,466	12,480	12,494	12,508	12,521
1150	12,535	12,549	12,563	12,577	12,590	12,604	12,618	12,632	12,646	12,659
1160	12,673	12,687	12,701	12,715	12,729	12,742	12,756	12,770	12,784	12,798
1170	12,812	12,825	12,839	12,853	12,867	12,881	12,895	12,909	12,922	12,936
1180	12,950	12,964	12,978	12,992	13,006	13,019	13,033	13,047	13,061	13,075
1190	13,089	13,103	13,117	13,131	13,145	13,158	13,172	13,186	13,200	13,214
1200	13,228	13,242	13,256	13,270	13,284	13,298	13,311	13,325	13,339	13,353
1210	13,367	13,381	13,395	13,409	13,423	13,437	13,451	13,465	13,479	13,493
1220	13,507	13,521	13,535	13,549	13,563	13,577	13,590	13,604	13,618	13,632
1230	13,646	13,660	13,674	13,688	13,702	13,716	13,730	13,744	13,758	13,772
1240	13,786	13,800	13,814	13,828	13,842	13,856	13,870	13,884	13,898	13,912
1250	13,926	13,940	13,954	13,968	13,982	13,996	14,010	14,024	14,038	14,052
1260	14,066	14,081	14,095	14,109	14,123	14,137	14,151	14,165	14,179	14,193
1270	14,207	14,221	14,235	14,249	14,263	14,277	14,291	14,305	14,319	14,333
1280	14,347	14,361	14,375	14,390	14,404	14,418	14,432	14,446	14,460	14,474
1290	14,488	14,502	14,516	14,530	14,544	14,558	14,572	14,586	14,601	14,615
1300	14,629	14,643	14,657	14,671	14,685	14,699	14,713	14,727	14,741	14,755



*Закінчення табл. Д1.2*

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1310	14,770	14,784	14,798	14,812	14,826	14,840	14,854	14,868	14,882	14,896
1320	14,911	14,925	14,939	14,953	14,967	14,981	14,995	15,009	15,023	15,037
1330	15,052	15,066	15,080	15,094	15,108	15,122	15,136	15,150	15,164	15,179
1340	15,193	15,207	15,221	15,235	15,249	15,263	15,277	15,291	15,306	15,320
1350	15,334	15,348	15,362	15,376	15,390	15,404	15,419	15,433	15,447	15,461
1360	15,475	15,489	15,503	15,517	15,531	15,546	15,560	15,574	15,588	15,602
1370	15,616	15,630	15,645	15,659	15,673	15,687	15,701	15,715	15,729	15,743
1380	15,758	15,772	15,786	15,800	15,814	15,828	15,842	15,856	15,871	15,885
1390	15,899	15,913	15,927	15,941	15,955	15,969	15,984	15,998	16,012	16,026
1400	16,040	16,054	16,068	16,082	16,097	16,111	16,125	16,139	16,153	16,167
1410	16,181	16,196	16,210	16,224	16,238	16,252	16,266	16,280	16,294	16,309
1420	16,323	16,337	16,351	16,365	16,379	16,393	16,407	16,422	16,436	16,450
1430	16,464	16,478	16,492	16,506	16,520	16,534	16,549	16,563	16,577	16,591
1440	16,605	16,619	16,633	16,647	16,662	16,676	16,690	16,704	16,718	16,732
1450	16,746	16,760	16,774	16,789	16,803	16,817	16,831	16,845	16,859	16,873
1460	16,887	16,901	16,915	16,930	16,944	16,958	16,972	16,986	17,000	17,014
1470	17,028	17,042	17,056	17,071	17,085	17,099	17,113	17,127	17,141	17,155
1480	17,169	17,183	17,197	17,211	17,225	17,240	17,254	17,268	17,282	17,296
1490	17,310	17,324	17,338	17,352	17,366	17,380	17,394	17,408	17,423	17,437
1500	17,451	17,465	17,479	17,493	17,507	17,521	17,535	17,549	17,563	17,577
1510	17,591	17,605	17,619	17,633	17,647	17,661	17,676	17,690	17,704	17,718
1520	17,732	17,746	17,760	17,774	17,788	17,802	17,816	17,830	17,844	17,858
1530	17,872	17,886	17,900	17,914	17,928	17,942	17,956	17,970	17,984	17,998
1540	18,012	18,026	18,040	18,054	18,068	18,082	18,096	18,110	18,124	18,138
1550	18,152	18,166	18,180	18,194	18,208	18,222	18,236	18,250	18,264	18,278
1560	18,292	18,306	18,320	18,334	18,348	18,362	18,376	18,390	18,404	18,417
1570	18,431	18,445	18,459	18,473	18,487	18,501	18,515	18,529	18,543	18,557
1580	18,571	18,585	18,599	18,613	18,627	18,640	18,654	18,668	18,682	18,696
1590	18,710	18,724	18,738	18,752	18,766	18,779	18,793	18,807	18,821	18,835
1600	18,849	18,863	18,877	18,891	18,904	18,918	18,932	18,946	18,960	18,974
1610	18,988	19,002	19,015	19,029	19,043	19,057	19,071	19,085	19,098	19,112
1620	19,126	19,140	19,154	19,168	19,181	19,195	19,209	19,223	19,237	19,250
1630	19,264	19,278	19,292	19,306	19,319	19,333	19,347	19,361	19,375	19,388
1640	19,402	19,416	19,430	19,444	19,457	19,471	19,485	19,499	19,512	19,526
1650	19,540	19,554	19,567	19,581	19,595	19,609	19,622	19,636	19,650	19,663
1660	19,677	19,691	19,705	19,718	19,732	19,746	19,759	19,773	19,787	19,800
1670	19,814	19,828	19,841	19,855	19,869	19,882	19,896	19,910	19,923	19,937
1680	19,951	19,964	19,978	19,992	20,005	20,019	20,032	20,046	20,060	20,073
1690	20,087	20,100	20,114	20,127	20,141	20,154	20,168	20,181	20,195	20,208
1700	20,222	20,235	20,249	20,262	20,275	20,289	20,302	20,316	20,329	20,342
1710	20,356	20,369	20,382	20,396	20,409	20,422	20,436	20,449	20,462	20,475
1720	20,488	20,502	20,515	20,528	20,541	20,554	20,567	20,581	20,594	20,607
1730	20,620	20,633	20,646	20,659	20,672	20,685	20,698	20,711	20,724	20,736
1740	20,749	20,762	20,775	20,788	20,801	20,813	20,826	20,839	20,852	20,864
1750	20,877	20,890	20,902	20,915	20,928	20,940	20,953	20,965	20,978	20,990
1760	21,003	21,015	21,027	21,040	21,052	21,065	21,077	21,089	21,101	–

**Таблиця Д1.3. Хромель-алюмелеві ТП (тип ТХА)  
Номінальна статична характеристика перетворення  $K$   
Залежність термо-ЕРС від температури**

Температура робочого кінця, °С	Термо-ЕРС, мВ, для температури, °С									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
-270	-6,458	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-260	-6,441	-6,444	-6,446	-6,448	-6,450	-6,452	-6,453	-6,455	-6,456	-6,457
-250	-6,404	-6,408	-6,412	-6,417	-6,421	-6,425	-6,429	-6,432	-6,435	-6,438
-240	-6,344	-6,351	-6,357	-6,364	-6,370	-6,377	-6,382	-6,388	-6,393	-6,399
-230	-6,262	-6,271	-6,280	-6,289	-6,297	-6,306	-6,314	-6,322	-6,329	-6,337
-220	-6,158	-6,170	-6,182	-6,192	-6,202	-6,213	-6,223	-6,233	-6,243	-6,252
-210	-6,035	-6,048	-6,061	-6,074	-6,087	-6,099	-6,111	-6,123	-6,135	-6,147
-200	-5,891	-5,907	-5,921	-5,936	-5,951	-5,965	-6,980	-6,994	-6,007	-6,021
-190	-5,730	-5,747	-5,763	-5,780	-5,797	-5,813	-5,829	-5,845	-5,861	-5,876
-180	-5,550	-5,569	-5,587	-5,606	-5,624	-5,642	-5,660	-5,678	-5,695	-5,713
-170	-5,354	-5,374	-5,394	-5,415	-5,435	-5,454	-5,474	-5,493	-5,512	-5,531
-160	-5,141	-5,163	-5,185	-5,207	-5,228	-5,250	-5,271	-5,292	-5,313	-5,333
-150	-4,913	-4,936	-4,959	-4,983	-5,006	-5,029	-5,052	-5,074	-5,097	-5,119
-140	-4,669	-4,694	-4,719	-4,744	-4,768	-4,793	-4,817	-4,841	-4,865	-4,889
-130	-4,411	-4,437	-4,463	-4,490	-4,516	-4,542	-4,567	-4,593	-4,618	-4,644
-120	-4,138	-4,166	-4,194	-4,221	-4,249	-4,276	-4,303	-4,330	-4,357	-4,384
-110	-3,852	-3,882	-3,911	-3,939	-3,968	-3,997	-4,025	-4,054	-4,082	-4,110
-100	-3,554	-3,584	-3,614	-3,645	-3,675	-3,705	-3,734	-3,764	-3,794	-3,823
-90	-3,243	-3,274	-3,306	-3,337	-3,368	-3,400	-3,431	-3,462	-3,492	-3,523
-80	-2,920	-2,953	-2,986	-3,018	-3,050	-3,083	-3,115	-3,147	-3,179	-3,211
-70	-2,587	-2,620	-2,654	-2,688	-2,721	-2,755	-2,788	-2,821	-2,854	-2,887
-60	-2,243	-2,278	-2,312	-2,347	-2,382	-2,416	-2,450	-2,485	-2,519	-2,553
-50	-1,889	-1,925	-1,961	-1,996	-2,032	-2,067	-2,103	-2,138	-2,173	-2,208
-40	-1,527	-1,564	-1,600	-1,637	-1,673	-1,709	-1,745	-1,782	-1,818	-1,854
-30	-1,156	-1,194	-1,231	-1,268	-1,305	-1,343	-1,380	-1,417	-1,453	-1,490
-20	-0,778	-0,816	-0,854	-0,892	-0,930	-0,968	-1,006	-1,043	-1,081	-1,119
-10	-0,392	-0,431	-0,470	-0,508	-0,547	-0,586	-0,624	-0,663	-0,701	-0,739
0	0,000	-0,039	-0,079	-0,118	-0,157	-0,197	-0,236	-0,275	-0,314	-0,353
0	0,000	0,039	0,079	0,119	0,158	0,198	0,238	0,277	0,317	0,357
10	0,397	0,437	0,477	0,517	0,557	0,597	0,637	0,677	0,718	0,758
20	0,798	0,838	0,879	0,919	0,960	1,000	1,041	1,081	1,122	1,163
30	1,203	1,244	1,285	1,326	1,366	1,407	1,448	1,489	1,530	1,571
40	1,612	1,653	1,694	1,735	1,776	1,817	1,858	1,899	1,941	1,982
50	2,023	2,064	2,106	2,147	2,188	2,230	2,271	2,312	2,354	2,395
60	2,436	2,478	2,519	2,561	2,602	2,644	2,685	2,727	2,768	2,810
70	2,851	2,893	2,934	2,976	3,017	3,059	3,100	3,142	3,184	3,225
80	3,267	3,308	3,350	3,391	3,433	3,474	3,516	3,557	3,599	3,640
90	3,682	3,723	3,765	3,806	3,848	3,889	3,931	3,972	4,013	4,055
100	4,096	4,138	4,179	4,220	4,262	4,303	4,344	4,385	4,427	4,468
110	4,509	4,550	4,591	4,633	4,674	4,715	4,756	4,797	4,838	4,879

Продовження табл. Д1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
120	4,920	4,961	5,002	5,043	5,084	5,124	5,165	5,206	5,247	5,288
130	5,328	5,369	5,410	5,450	5,491	5,532	5,572	5,613	5,653	5,694
140	5,735	5,775	5,815	5,856	5,896	5,937	5,977	6,017	6,058	6,098
150	6,138	6,179	6,219	6,259	6,299	6,339	6,380	6,420	6,460	6,500
160	6,540	6,580	6,620	6,660	6,701	6,741	6,781	6,821	6,861	6,901
170	6,941	6,981	7,021	7,060	7,100	7,140	7,180	7,220	7,260	7,300
180	7,340	7,380	7,420	7,460	7,500	7,540	7,579	7,619	7,659	7,699
190	7,739	7,779	7,819	7,859	7,899	7,939	7,979	8,019	8,059	8,099
200	8,138	8,178	8,218	8,258	8,298	8,338	8,378	8,418	8,458	8,499
210	8,539	8,579	8,619	8,659	8,699	8,739	8,779	8,819	8,860	8,900
220	8,940	8,980	9,020	9,061	9,101	9,141	9,181	9,222	9,262	9,302
230	9,343	9,383	9,423	9,464	9,504	9,545	9,585	9,626	9,666	9,707
240	9,747	9,788	9,828	9,869	9,909	9,950	9,991	10,031	10,072	10,113
250	10,153	10,194	10,235	10,276	10,316	10,375	10,398	10,439	10,480	10,520
260	10,561	10,602	10,643	10,684	10,725	10,766	10,807	10,848	10,889	10,930
270	10,971	11,012	11,053	11,094	11,135	11,176	11,217	11,259	11,300	11,341
280	11,382	11,423	11,465	11,506	11,547	11,588	11,630	11,671	11,712	11,753
290	11,795	11,836	11,877	11,919	11,960	12,001	12,043	12,084	12,126	12,167
300	12,209	12,250	12,291	12,333	12,374	12,416	12,457	12,499	12,540	12,582
310	12,624	12,665	12,707	12,748	12,790	12,831	12,873	12,915	12,956	12,998
320	13,040	13,081	13,123	13,165	13,206	13,248	13,290	13,331	13,373	13,415
330	13,457	13,498	13,540	13,582	13,624	13,665	13,707	13,749	13,791	13,833
340	13,874	13,916	13,958	14,000	14,042	14,084	14,126	14,167	14,209	14,251
350	14,293	14,335	14,377	14,419	14,461	14,503	14,545	14,587	14,629	14,671
360	14,713	14,755	14,797	14,839	14,881	14,923	14,965	15,007	15,049	15,091
370	15,133	15,175	15,217	15,259	15,301	15,343	15,385	15,427	15,469	15,511
380	15,554	15,596	15,638	15,680	15,722	15,764	15,806	15,849	15,891	15,933
390	15,975	16,017	16,059	16,102	16,144	16,186	16,228	16,270	16,313	16,355
400	16,397	16,439	16,482	16,524	16,566	16,608	16,651	16,693	16,735	16,778
410	16,820	16,862	16,904	16,947	16,989	17,031	17,074	17,116	17,158	17,201
420	17,243	17,285	17,328	17,370	17,413	17,455	17,497	17,540	17,582	17,624
430	17,667	17,709	17,752	17,794	17,837	17,879	17,921	17,964	18,006	18,049
440	18,091	18,134	18,176	18,218	18,261	18,303	18,346	18,388	18,431	18,473
450	18,516	18,558	18,601	18,643	18,686	18,728	18,771	18,813	18,856	18,898
460	18,941	18,983	19,026	19,068	19,111	19,154	19,196	19,239	19,281	19,324
470	19,366	19,409	19,451	19,494	19,537	19,579	19,622	19,664	19,707	19,750
480	19,792	19,835	19,877	19,920	19,962	20,005	20,048	20,090	20,133	20,175
490	20,218	20,261	20,303	20,346	20,389	20,431	20,474	20,516	20,559	20,602
500	20,644	20,687	20,730	20,772	20,815	20,857	20,900	20,943	20,985	21,028
510	21,071	21,113	21,156	21,199	21,241	21,284	21,326	21,369	21,412	21,454
520	21,497	21,540	21,582	21,625	21,668	21,710	21,753	21,796	21,838	21,881
530	21,924	21,966	22,009	22,052	22,094	22,137	22,179	22,222	22,265	22,307
540	22,350	22,393	22,435	22,478	22,521	22,563	22,606	22,649	22,691	22,734
550	22,776	22,819	22,862	22,904	22,947	22,990	23,032	23,075	23,117	23,160
560	23,203	23,245	23,288	23,331	23,373	23,416	23,458	23,501	23,544	23,586
570	23,629	23,671	23,714	23,757	23,799	23,842	23,884	23,927	23,970	24,012
580	24,055	24,097	24,140	24,182	24,225	24,267	24,310	24,353	24,395	24,438
590	24,480	24,523	24,565	24,608	24,650	24,693	24,735	24,778	24,820	24,863

Продовження табл. Д1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
600	24,905	24,948	24,990	25,033	25,075	25,118	25,160	25,203	25,245	25,288
610	25,330	25,373	25,415	25,458	25,500	25,543	25,585	25,627	25,670	25,712
620	25,755	25,797	25,840	25,882	25,924	25,967	26,009	26,052	26,094	26,136
630	26,179	26,221	26,263	26,306	26,348	26,390	26,433	26,475	26,517	26,560
640	26,602	26,644	26,687	26,729	26,771	26,814	26,856	26,898	26,940	26,983
650	27,025	27,067	27,109	27,152	27,194	27,236	27,278	27,320	27,363	27,405
660	27,447	27,489	27,531	27,574	27,616	27,658	27,700	27,742	27,784	27,826
670	27,869	27,911	27,953	27,995	28,037	28,079	28,121	28,163	28,205	28,247
680	28,289	28,332	28,374	28,416	28,458	28,500	28,542	28,584	28,626	28,668
690	28,710	28,752	28,794	28,835	28,877	28,919	28,961	29,003	29,045	29,087
700	29,129	29,171	29,213	29,255	29,297	29,338	29,380	29,422	29,464	29,506
710	29,548	29,589	29,631	29,673	29,715	29,757	29,798	29,840	29,882	29,924
720	29,965	30,007	30,049	30,090	30,132	30,174	30,216	30,257	30,299	30,341
730	30,382	30,424	30,466	30,507	30,549	30,590	30,632	30,674	30,715	30,757
740	30,798	30,840	30,881	30,923	30,964	31,006	31,047	31,089	31,130	31,172
750	31,213	31,255	31,296	31,338	31,379	31,421	31,462	31,504	31,545	31,586
760	31,628	31,669	31,710	31,752	31,793	31,834	31,876	31,917	31,958	32,000
770	32,041	32,082	32,124	32,165	32,206	32,247	32,289	32,330	32,371	32,412
780	32,453	32,495	32,536	32,577	32,618	32,659	32,700	32,742	32,783	32,824
790	32,865	32,906	32,947	32,988	33,029	33,070	33,111	33,152	33,193	33,234
800	33,275	33,316	33,357	33,398	33,439	33,480	33,521	33,562	33,603	33,644
810	33,685	33,726	33,767	33,808	33,848	33,889	33,930	33,971	34,012	34,053
820	34,093	34,134	34,175	34,216	34,257	34,297	34,338	34,379	34,420	34,460
830	34,501	34,542	34,582	34,623	34,664	34,704	34,745	34,786	34,826	34,867
840	34,908	34,948	34,989	35,029	35,070	35,110	35,151	35,192	35,232	35,273
850	35,313	35,354	35,394	35,435	35,475	35,516	35,556	35,596	35,637	35,677
860	35,718	35,758	35,798	35,839	35,879	35,920	35,960	36,000	36,041	36,081
870	36,121	36,162	36,202	36,242	36,282	36,323	36,363	36,403	36,443	36,484
880	36,524	36,564	36,604	36,644	36,685	36,725	36,765	36,805	36,845	36,885
890	36,925	36,965	37,006	37,046	37,086	37,126	37,166	37,206	37,246	37,286
900	37,326	37,366	37,406	37,446	37,486	37,526	37,566	37,606	37,646	37,686
910	37,725	37,765	37,805	37,845	37,885	37,925	37,965	38,005	38,044	38,084
920	38,124	38,164	38,204	38,243	38,283	38,323	38,363	38,402	38,442	38,482
930	38,522	38,561	38,601	38,641	38,680	38,720	38,760	38,799	38,839	38,878
940	38,918	38,958	38,997	39,037	39,076	39,116	39,155	39,195	39,235	39,274
950	39,314	39,353	39,393	39,432	39,471	39,511	39,550	39,590	39,629	39,669
960	39,708	39,747	39,787	39,826	39,866	39,905	39,944	39,984	40,023	40,062
970	40,101	40,141	40,180	40,219	40,259	40,298	40,337	40,376	40,415	40,455
980	40,494	40,533	40,572	40,611	40,651	40,690	40,729	40,768	40,807	40,846
990	40,885	40,924	40,963	41,002	41,042	41,081	41,120	41,159	41,198	41,237
1000	41,267	41,315	41,354	41,393	41,431	41,470	41,509	41,548	41,587	41,626
1010	41,665	41,704	41,743	41,781	41,820	41,859	41,898	41,937	41,976	42,014
1020	42,053	42,092	42,131	42,169	42,208	42,247	42,286	42,324	42,363	42,402
1030	42,440	42,479	42,518	42,556	42,595	42,633	42,672	42,711	42,749	42,788
1040	42,826	42,865	42,903	42,942	42,980	43,019	43,057	43,096	43,134	43,173
1050	43,211	43,250	43,288	43,327	43,365	43,403	43,442	43,480	43,518	43,557
1060	43,595	43,633	43,672	43,710	43,748	43,787	43,825	43,863	43,901	43,940
1070	43,978	44,016	44,054	44,092	44,130	44,169	44,207	44,245	44,283	44,321

## Закінчення табл. Д1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1080	44,359	44,397	44,435	44,473	44,512	44,550	44,588	44,626	44,664	44,702
1090	44,740	44,778	44,816	44,853	44,891	44,929	44,967	45,005	45,043	45,081
1100	45,119	45,157	45,194	45,232	45,270	45,308	45,346	45,383	45,421	45,459
1110	45,497	45,534	45,572	45,610	45,647	45,685	45,723	45,760	45,798	45,836
1120	45,873	45,911	45,948	45,986	46,024	46,061	46,099	46,136	46,174	46,211
1130	46,249	46,286	46,324	46,361	46,398	46,436	46,473	46,511	46,548	46,585
1140	46,623	46,660	46,697	46,735	46,772	46,809	46,847	46,884	46,921	46,958
1150	46,995	47,033	47,070	47,107	47,144	47,181	47,218	47,256	47,293	47,330
1160	47,367	47,404	47,441	47,478	47,515	47,552	47,589	47,626	47,663	47,700
1170	47,737	47,774	47,811	47,848	47,884	47,921	47,958	47,995	48,032	48,069
1180	48,105	48,142	48,179	48,216	48,252	48,289	48,326	48,363	48,399	48,436
1190	48,473	48,509	48,546	48,582	48,619	48,656	48,692	48,729	48,765	48,802
1200	48,838	48,875	48,911	48,948	48,984	49,021	49,057	49,093	49,130	49,166
1210	49,202	49,239	49,275	49,311	49,348	49,384	49,420	49,456	49,493	49,529
1220	49,565	49,601	49,637	49,674	49,710	49,746	49,782	49,818	49,854	49,890
1230	49,926	49,962	49,998	50,034	50,070	50,106	50,142	50,178	50,214	50,250
1240	50,286	50,322	50,358	50,393	50,429	50,465	50,501	50,537	50,572	50,608
1250	50,644	50,680	50,715	50,751	50,787	50,822	50,858	50,894	50,929	50,965
1260	51,000	51,036	51,071	51,107	51,142	51,178	51,213	51,249	51,284	51,320
1270	51,355	51,391	51,426	51,461	51,497	51,532	51,567	51,603	51,638	51,673
1280	51,708	51,744	51,779	51,814	51,849	51,885	51,920	51,955	51,990	52,025
1290	52,060	52,095	52,130	52,165	52,200	52,235	52,270	52,305	52,340	52,375
1300	52,410	52,445	52,480	52,515	52,550	52,585	52,620	52,654	52,689	52,724
1310	52,759	52,794	52,828	52,863	52,898	52,932	52,967	53,002	53,037	53,071
1320	53,106	53,140	53,175	53,210	53,244	53,279	53,313	53,348	53,382	53,417
1330	53,451	53,486	53,520	53,555	53,589	53,623	53,658	53,692	53,727	53,761
1340	53,795	53,830	53,864	53,898	53,932	53,967	54,001	54,035	54,069	54,104
1350	54,138	54,172	54,206	54,240	54,274	54,308	54,343	54,377	54,411	54,445
1360	54,479	54,513	54,547	54,581	54,615	54,649	54,683	54,717	54,751	54,785
1370	54,819	54,852	54,886	–	–	–	–	–	–	–

**Таблиця Д1.4. Хромель-копелеві ТП (тип ТХК)**  
**Номінальна статична характеристика перетворення  $L$**   
**Залежність термо-ЕРС від температури**

Температура робочо- го кін- ця, °С	Термо-ЕРС, мВ, для температури, °С									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
-200	-9,488	-9,515	-9,542	-9,569	-9,595	-9,621	-9,647	-9,673	-9,698	-9,723
-190	-9,203	-9,233	-9,262	-9,291	-9,320	-9,349	-9,377	-9,405	-9,433	-9,461
-180	-8,895	-8,927	-8,958	-8,990	-9,021	-9,052	-9,083	-9,113	-9,144	-9,174
-170	-8,563	-8,597	-8,631	-8,665	-8,698	-8,732	-8,765	-8,797	-8,830	-8,863
-160	-8,208	-8,244	-8,280	-8,317	-8,352	-8,388	-8,423	-8,458	-8,493	-8,528
-150	-7,831	-7,870	-7,908	-7,946	-7,984	-8,022	-8,060	-8,097	-8,134	-8,171
-140	-7,433	-7,473	-7,514	-7,554	-7,594	-7,634	-7,674	-7,714	-7,753	-7,792
-130	-7,014	-7,057	-7,099	-7,142	-7,184	-7,226	-7,268	-7,309	-7,351	-7,392
-120	-6,575	-6,620	-6,665	-6,709	-6,753	-6,797	-6,841	-6,884	-6,928	-6,971
-110	-6,117	-6,164	-6,210	-6,257	-6,303	-6,349	-6,394	-6,440	-6,485	-6,530
-100	-5,641	-5,689	-5,738	-5,786	-5,834	-5,881	-5,929	-5,976	-6,024	-6,071
-90	-5,147	-5,197	-5,247	-5,297	-5,346	-5,396	-5,445	-5,494	-5,543	-5,592
-80	-4,635	-4,687	-4,739	-4,790	-4,842	-4,893	-4,944	-4,995	-5,046	-5,096
-70	-4,107	-4,161	-4,214	-4,267	-4,320	-4,373	-4,426	-4,479	-4,531	-4,583
-60	-3,564	-3,619	-3,674	-3,728	-3,783	-3,837	-3,892	-3,946	-4,000	-4,054
-50	-3,004	-3,061	-3,117	-3,174	-3,230	-3,286	-3,342	-3,397	-3,453	-3,508
-40	-2,431	-2,489	-2,547	-2,604	-2,662	-2,719	-2,777	-2,834	-2,891	-2,948
-30	-1,843	-1,902	-1,962	-2,021	-2,080	-2,139	-2,197	-2,256	-2,314	-2,373
-20	-1,241	-1,302	-1,363	-1,423	-1,484	-1,544	-1,604	-1,664	-1,724	-1,783
-10	-0,627	-0,689	-0,751	-0,813	-0,874	-0,936	-0,997	-1,059	-1,120	-1,181
0	0,000	-0,063	-0,126	-0,189	-0,252	-0,315	-0,378	-0,440	-0,503	-0,565
0	0,000	0,063	0,127	0,190	0,254	0,318	0,382	0,446	0,510	0,574
10	0,639	0,703	0,768	0,833	0,898	0,963	1,028	1,093	1,158	1,224
20	1,289	1,355	1,421	1,487	1,553	1,619	1,685	1,751	1,818	1,884
30	1,951	2,018	2,085	2,152	2,219	2,286	2,353	2,421	2,488	2,556
40	2,623	2,691	2,759	2,827	2,895	2,964	3,032	3,100	3,169	3,237
50	3,306	3,375	3,444	3,513	3,582	3,651	3,721	3,790	3,859	3,929
60	3,999	4,069	4,138	4,208	4,279	4,349	4,419	4,489	4,560	4,630
70	4,701	4,772	4,842	4,913	4,984	5,056	5,127	5,198	5,269	5,341
80	5,412	5,484	5,556	5,628	5,699	5,771	5,843	5,916	5,988	6,060
90	6,133	6,205	6,278	6,350	6,423	6,496	6,569	6,642	6,715	6,788
100	6,861	6,935	7,008	7,082	7,155	7,229	7,303	7,377	7,451	7,525
110	7,599	7,673	7,747	7,821	7,896	7,970	8,045	8,119	8,194	8,269
120	8,344	8,419	8,494	8,569	8,644	8,719	8,794	8,870	8,945	9,021
130	9,097	9,172	9,248	9,324	9,400	9,476	9,552	9,628	9,704	9,780
140	9,857	9,933	10,010	10,086	10,163	10,240	10,316	10,393	10,470	10,547
150	10,624	10,701	10,779	10,856	10,933	11,011	11,088	11,166	11,243	11,321
160	11,399	11,476	11,554	11,632	11,710	11,788	11,866	11,945	12,023	12,101
170	12,180	12,258	12,337	12,415	12,494	12,573	12,651	12,730	12,809	12,888
180	12,967	13,046	13,126	13,205	13,284	13,363	13,443	13,522	13,602	13,681
190	13,761	13,841	13,921	14,000	14,080	14,160	14,240	14,320	14,400	14,481

*Продовження табл. Д1.4*

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
200	14,561	14,641	14,722	14,802	14,882	14,963	15,044	15,124	15,205	15,286
210	15,366	15,447	15,528	15,609	15,690	15,771	15,853	15,934	16,015	16,096
220	16,178	16,259	16,341	16,422	16,504	16,585	16,667	16,749	16,831	16,912
230	16,994	17,076	17,158	17,240	17,322	17,404	17,487	17,569	17,651	17,734
240	17,816	17,898	17,981	18,063	18,146	18,229	18,311	18,394	18,477	18,560
250	18,643	18,726	18,809	18,892	18,975	19,058	19,141	19,224	19,307	19,391
260	19,474	19,557	19,641	19,724	19,808	19,891	19,975	20,059	20,142	20,226
270	20,310	20,394	20,478	20,562	20,646	20,730	20,814	20,898	20,982	21,066
280	21,150	21,234	21,319	21,403	21,487	21,572	21,656	21,741	21,825	21,910
290	21,995	22,079	22,164	22,249	22,333	22,418	22,503	22,588	22,673	22,758
300	22,843	22,928	23,013	23,098	23,183	23,268	23,353	23,439	23,524	23,609
310	23,695	23,780	23,865	23,951	24,036	24,122	24,207	24,293	24,379	24,464
320	24,550	24,636	24,721	24,807	24,893	24,979	25,065	25,151	25,237	25,322
330	25,408	25,495	25,581	25,667	25,753	25,839	25,925	26,011	26,098	26,184
340	26,270	26,356	26,443	26,529	26,616	26,702	26,788	26,875	26,961	27,048
350	27,135	27,221	27,308	27,394	27,481	27,568	27,654	27,741	27,828	27,915
360	28,002	28,088	28,175	28,262	28,349	28,436	28,523	28,610	28,697	28,784
370	28,871	28,958	29,045	29,132	29,219	29,306	29,394	29,481	29,568	29,655
380	29,743	29,830	29,917	30,004	30,092	30,179	30,266	30,354	30,441	30,529
390	30,616	30,704	30,791	30,879	30,966	31,054	31,141	31,229	31,316	31,404
400	31,491	31,579	31,667	31,754	31,842	31,930	32,017	32,105	32,193	32,281
410	32,368	32,456	32,544	32,632	32,719	32,807	32,895	32,983	33,071	33,159
420	33,247	33,334	33,422	33,510	33,598	33,686	33,774	33,862	33,950	34,038
430	34,126	34,214	34,302	34,390	34,478	34,566	34,654	34,742	34,830	34,918
440	35,006	35,095	35,183	35,271	35,359	35,447	35,535	35,623	35,711	35,799
450	35,888	35,976	36,064	36,152	36,240	36,329	36,417	36,505	36,593	36,681
460	36,770	36,858	36,946	37,034	37,122	37,211	37,299	37,387	37,475	37,564
470	37,652	37,740	23,828	37,917	38,005	38,093	38,181	38,270	38,358	38,446
480	38,534	38,623	38,711	38,799	38,888	38,976	39,064	39,152	39,241	39,329
490	39,417	39,506	39,594	39,682	39,770	39,859	39,947	40,035	40,124	40,212
500	40,300	40,388	40,477	40,565	40,653	40,741	40,830	40,918	41,006	41,095
510	41,183	41,271	41,359	41,448	41,536	41,624	41,712	41,801	41,889	41,977
520	42,065	42,154	42,242	42,330	42,418	42,506	42,595	42,683	42,771	42,859
530	42,947	43,036	43,124	43,212	43,300	43,388	43,477	43,565	43,653	43,741
540	43,829	43,917	44,006	44,094	44,182	44,270	44,358	44,446	44,534	44,622
550	44,710	44,799	44,887	44,975	45,063	45,151	45,239	45,327	45,415	45,503
560	45,591	45,679	45,767	45,855	45,943	46,031	46,119	46,207	46,295	46,383
570	46,471	46,559	46,647	46,735	46,823	46,911	46,999	47,087	47,175	47,263
580	47,351	47,438	47,526	47,614	47,702	47,790	47,878	47,966	48,054	48,141
590	48,229	48,317	48,405	48,493	48,580	48,668	48,756	48,844	48,932	49,019
600	49,107	49,195	49,283	49,370	49,458	49,546	49,634	49,721	49,809	49,897
610	49,984	50,072	50,160	50,247	50,335	50,423	50,510	50,598	50,685	50,773
620	50,861	50,948	51,036	51,123	51,211	51,298	51,386	51,474	51,561	51,649
630	51,736	51,824	51,911	51,999	52,086	52,174	52,261	52,349	52,436	52,523
640	52,611	52,698	52,786	52,873	52,960	53,048	53,135	53,223	53,310	53,397
650	53,485	53,572	53,659	53,747	53,834	53,921	54,009	54,096	54,183	54,271
660	54,358	54,445	54,532	54,620	54,707	54,794	54,881	54,968	55,056	55,143
670	55,230	55,317	55,404	55,491	55,579	55,666	55,753	55,840	55,927	56,014

**Закінчення табл. Д1.4**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
680	56,101	56,188	56,275	56,363	56,450	56,537	56,624	56,711	56,798	56,885
690	56,972	57,059	57,146	57,233	57,320	57,407	57,493	57,580	57,667	57,754
700	57,841	57,928	58,015	58,102	58,189	58,275	58,362	58,449	58,536	58,623
710	58,709	58,796	58,883	58,970	59,056	59,143	59,230	59,317	59,403	59,490
720	59,577	59,663	59,750	59,836	59,923	60,010	60,096	60,183	60,269	60,356
730	60,442	60,529	60,615	60,702	60,788	60,875	60,961	61,048	61,134	61,220
740	61,307	61,393	61,479	61,566	61,652	61,738	61,824	61,911	61,997	62,083
750	62,169	62,255	62,341	62,428	62,514	62,600	62,686	62,772	62,858	62,944
760	63,030	63,116	63,201	63,287	63,373	63,459	63,545	63,631	63,716	63,802
770	63,888	63,973	64,059	64,144	64,230	64,316	64,401	64,487	64,572	64,657
780	64,743	64,828	64,913	64,999	65,084	65,169	65,254	65,339	65,424	65,509
790	65,594	65,679	65,764	65,849	65,934	66,019	66,103	66,188	66,273	66,357
800	66,442	66,527	66,611	66,695	66,780	66,864	66,948	67,033	67,117	67,201

**Довідкова інформація про нові типи термоелектричних перетворювачів**

Останнім часом в Україні, зокрема на Луцькому приладобудівному заводі, освоєно випуск нових типів ТП:

1. ТП 2088 (ТХА та ТХК) – для вимірювання температури газоподібних і рідинних середовищ (як хімічно неагресивних, так і агресивних, що не руйнують захисну арматуру ТП) у таких діапазонах вимірюваних температур:

- ТП 2088ХА від –50 до +850 °С (ТХА–2088);
- ТП 2088ХК від –50 до +600 °С (ТХК–2088).

Захисна арматура зі сталі 12Х18Н10Т, теплова інерція 40 і 20 с.

2. ТП 2488ХК – від –40 до +400 °С, захисна арматура зі сталі 12Х10Н10Т, теплова інерція 5...20 с.

3. ТХК 0295 – для контролю температури харчових продуктів у процесі гарячої та холодної переробки в температурному діапазоні 40...200 °С. Захисні чохла зі сталі 12Х10Н10Т, укомплектовані подовжувальними провідниками в оболонці з фторопласту ФТ4МБ.

4. ТВР 0395/1(2), ТПР 0395/1(2) – для вимірювання температур до 1 800 °С, ТВР 0395/3(4), ТПР 0395/3(4) – до 1 600 °С, ТПП 0395, ТХА 0395 – до 1 300 °С. Захисна арматура з газонепроникної кераміки Luxal 203 (1 800 °С) і Lunit 73 (1 600 °С). Чохли термопар можуть тривалий час працювати в середовищі з O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub>, NO, H<sub>2</sub>S. Високий ресурс термоелектронів ТП забезпечує заповнення захисного чохла аргоном. Матеріал головки ТП – силумін.

5. ТХА 0195 – високотемпературний кабельний ТП із жаростійкою оболонкою з таких матеріалів: ІНКОНЕЛЬ 600 – до 1 100 °С, ХН78Т – до 1 200 °С, НЕМОНІК – до 1 300 °С.

Луцький завод також випускає ТП зі стандартним уніфікованим вихідним сигналом 0...5, 0...20, 4...20 мА, наприклад, ТП ТХАУ-055 (0...600 °С), ТХАУ-205-Е<sub>х</sub> (0...900 °С).



## ТЕРМОПЕРЕТВОРЮВАЧІ ОПОРУ<sup>1</sup>

### 2.1. Умовні позначення номінальних статичних характеристик термоперетворювачів опору

Залежно від номінального значення опору при 0 °С ( $R_0$ ) і номінального значення відношення опорів  $W_{100} = R_{100} / R_0$  умовне позначення НСХ перетворення ТО має відповідати наведеному в табл. Д2.1.

Таблиця Д2.1. Умовні позначення НСХ ТО

Тип ТО	Номінальне значення $R_0$ , Ом	Умовне позначення перетворення НСХ		
		українське	міжнародне	
Платиновий (ТОП)	1 10 50 100 500	$W_{100} = 1,3850$		$W_{100} = 1,3910$
		1П	Pt 1	Pt' 1
		10П	Pt 10	Pt' 10
		50П	Pt 50	Pt' 50
		100П	Pt 100	Pt' 100
		500П	Pt 500	Pt' 500
Мідний (ТОМ)	10 50 100	$W_{100} = 1,4260$		$W_{100} = 1,4280$
		10М	Cu 10	Cu' 10
		50М	Cu 50	Cu' 50
		100М	Cu 100	Cu' 100
Нікелевий (ТОН)	100	100Н	Ni 100	

<sup>1</sup> Відповідно до ДСТУ 2858–94 Термоперетворювачі опору. Загальні технічні вимоги і методи випробувань. – Чинний від 23.11.94.

## 2.2. Основні характеристики термоперетворювачів опору

Основні характеристики ТО мають відповідати вимогам, поданим у табл. Д2.2.

Таблиця Д2.2. Характеристики стандартних типів ТО

Назва характеристики	Тип ТО		
	платинові (ТОП)	мідні (ТОМ)	нікелеві (ТОН)
Діапазон вимірюваних температур, °С	-260...+850 (+1100 – для одиничного виробництва)	-200...+200	-60...+180
Клас допуску	А, В, С	А, В, С	С
Межа допустимого відхилення опору від НХС для класів допуску, °С			
А	$\pm (0,15 + 0,002  t )$ від -220 до +850 °С	$\pm (0,15 + 0,002  t )$ від -50 до +120 °С	
В	$\pm (0,3 + 0,005  t )$ від -220 до +1100 °С	$\pm (0,25 + 0,0035  t )$ від -200 до +200 °С	
С	$\pm (0,6 + 0,008  t )$ від -100 до +300 °С від 850 до 1100 °С	$\pm (0,5 + 0,0065  t )$ від -200 до +200 °С	$\pm (0,3 + 0,0165  t )$ від -60 до 0 °С $\pm (0,3+0,008  t )$ від 0 до 180 °С

Примітка 1.  $t$  – значення вимірюваної температури, °С.

Примітка 2. Допустимі відхилення опору від НХХ ТО для вимірювання температури нижче мінус 220 °С і поверхневих ТО встановлено в технічних умовах на ТО конкретного типу.

Примітка 3. Робочий діапазон ТО конкретного типу може включати частину діапазону вимірюваних температур, а також бути диференційованим за класом допуску ТО. Крім робочого діапазону, у технічних умовах на ТО конкретного типу може бути встановлено номінальне значення температури застосування.

Примітка 4. ТО, що мають тільки два внутрішні з'єднувальні проводи і призначені для використання тільки з двома зовнішніми з'єднувальними проводами, не належать до класу допуску А.

Вимірювальний струм, який зумовлює зміну опору ТО при 0 °С не більше 0,1 % його номінального значення, потрібно вибрати з ряду: 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 5,0; 10,0; 20,0; 50,0 мА і вказати в технічних умовах на ТО конкретного типу.

## 2.3. Допустиме відхилення опору термоперетворювачів опору

Допустиме відхилення опору ТО для 0 °С ( $R_0$ ) від номінального значення не має перевищувати наведених у табл. Д2.3 значень.

**Таблиця Д2.3. Допустиме відхилення опору від номінального значення при 0 °С, %**

Тип ТО	Клас допуску		
	А	В	С
Платиновий (ТОП)	0,05	0,1	0,2
Мідний (ТОМ)	0,05	0,1	0,2
Нікелевий (ТОН)	–	–	0,24

## 2.4. Відношення опору термоперетворювачів опору для 100 °С ( $R_{100}$ ) до опору для 0 °С ( $R_0$ )

Значення  $W_{100}$ , яке визначають як відношення опору ТО для 100 °С ( $R_{100}$ ) до опору для 0 °С ( $R_0$ ), має відповідати значенням, наведеним у табл. Д2.4.

**Таблиця Д2.4. Значення  $W_{100}$**

Тип ТО	Клас допуску	Номінальне значення $W_{100}$	Найменше допустиме значення $W_{100}$
Платиновий (ТОП)	А	1,3850	1,3845
		1,3910	1,3905
	В	1,3850	1,3840
		1,3910	1,3900
	С	1,3850	1,3835
		1,3910	1,3895
Мідний (ТОМ)	А	1,4260	1,4255
		1,4280	1,4275
	В	1,4260	1,4250
		1,4280	1,4270
	С	1,4260	1,4240
		1,4280	1,4260
Нікелевий (ТОН)	С	1,6170	1,6130

Примітка. Найбільше допустиме значення  $W_{100}$  не обмежується.

## 2.5. Номінальні статичні характеристики термоперетворювачів опору

Номінальні статичні характеристики перетворення ТО мають відповідати рівнянню

$$R_t = W_t R_0,$$

де  $R_t$ ,  $R_0$  – опори ТО для температур  $t$  і 0 °С, Ом;  $W_t$  – значення відношення опорів для температури  $t$  до опору для 0 °С.

Значення  $W_t$  вибирають з табл. Д2.5 – Д2.9.

**Таблиця Д2.5. Платинові ТО з  $W_{100} = 1,3910$ .**  
Залежність відношення опорів  $W_t$  від температури

Температура, °C	Відношення опорів для температури, °C									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
-260	0,0040	—	—	—	—	—	—	—	—	—
-250	0,0102	0,0092	0,0083	0,0075	0,0067	0,0061	0,0056	0,0051	0,0047	0,0043
-240	0,0270	0,0248	0,0227	0,0207	0,0189	0,0171	0,0155	0,0140	0,0126	0,0114
-230	0,0549	0,0517	0,0486	0,0455	0,0426	0,0397	0,0370	0,0343	0,0318	0,0294
-220	0,0906	0,0868	0,0830	0,0793	0,0756	0,0720	0,0684	0,0650	0,0615	0,0582
-210	0,1307	0,1266	0,1225	0,1184	0,1143	0,1103	0,1063	0,1023	0,0984	0,0945
-200	0,1730	0,1687	0,1645	0,1602	0,1559	0,1517	0,1475	0,1433	0,1391	0,1349
-190	0,2162	0,2118	0,2075	0,2031	0,1987	0,1944	0,1900	0,1856	0,1812	0,1768
-180	0,2596	0,2553	0,2509	0,2466	0,2423	0,2379	0,2336	0,2292	0,2249	0,2205
-170	0,3026	0,2983	0,2941	0,2898	0,2855	0,2812	0,2768	0,2725	0,2682	0,2639
-160	0,3454	0,3411	0,3369	0,3326	0,3283	0,3241	0,3198	0,3155	0,3112	0,3069
-150	0,3878	0,3836	0,3794	0,3751	0,3709	0,3667	0,3624	0,3582	0,3539	0,3496
-140	0,4300	0,4258	0,4216	0,4174	0,4132	0,4090	0,4048	0,4005	0,3963	0,3921
-130	0,4720	0,4678	0,4636	0,4594	0,4552	0,4510	0,4468	0,4426	0,4384	0,4342
-120	0,5137	0,5095	0,5053	0,5012	0,5386	0,5344	0,5303	0,5261	0,5220	0,5178
-110	0,5551	0,5510	0,5468	0,5427	0,7671	0,7628	0,7585	0,7541	0,7498	0,7454
-100	0,5964	0,5923	0,5881	0,5840	0,5799	0,5758	0,5716	0,5675	0,5634	0,5593
-90	0,6374	0,6333	0,6292	0,6251	0,6210	0,6169	0,6128	0,6087	0,6046	0,6005
-80	0,6783	0,6743	0,6702	0,6661	0,6620	0,6579	0,6538	0,6497	0,6456	0,6415
-70	0,7190	0,7150	0,7109	0,7068	0,7028	0,6987	0,6946	0,6906	0,6865	0,6824
-60	0,7596	0,7555	0,7515	0,7474	0,7434	0,7393	0,7353	0,7312	0,7272	0,7231
-50	0,8000	0,7960	0,7919	0,7879	0,7839	0,7798	0,7758	0,7717	0,7677	0,7636
-40	0,8403	0,8362	0,8322	0,8282	0,8242	0,8201	0,8161	0,8121	0,8081	0,8040
-30	0,8804	0,8764	0,8724	0,8684	0,8643	0,8603	0,8563	0,8523	0,8483	0,8443
-20	0,9204	0,9164	0,9124	0,9084	0,9044	0,9004	0,8964	0,8924	0,8884	0,8844
-10	0,9602	0,9563	0,9523	0,9483	0,9443	0,9403	0,9363	0,9324	0,9284	0,9244
0	1,0000	0,9960	0,9921	0,9881	0,9841	0,9801	0,9762	0,9722	0,9682	0,9642
0	1,0000	1,0040	1,0079	1,0119	1,0159	1,0198	1,0238	1,0278	1,0317	1,0357
10	1,0396	1,0436	1,0475	1,0515	1,0555	1,0594	1,0634	1,0673	1,0713	1,0752
20	1,0792	1,0831	1,0870	1,0910	1,0949	1,0989	1,1028	1,1067	1,1107	1,1146
30	1,1186	1,1225	1,1264	1,1303	1,1343	1,1382	1,1421	1,1461	1,1500	1,1539
40	1,1578	1,1618	1,1657	1,1696	1,1735	1,1774	1,1814	1,1853	1,1892	1,1931
50	1,1970	1,2009	1,2048	1,2087	1,2126	1,2165	1,2204	1,2244	1,2283	1,2322
60	1,2361	1,2400	1,2439	1,2477	1,2516	1,2555	1,2594	1,2633	1,2672	1,2711
70	1,2750	1,2789	1,2828	1,2866	1,2905	1,2944	1,2983	1,3022	1,3061	1,3099
80	1,3138	1,3177	1,3216	1,3254	1,3293	1,3332	1,3370	1,3409	1,3448	1,3486
90	1,3525	1,3564	1,3602	1,3641	1,3680	1,3718	1,3757	1,3795	1,3834	1,3872
100	1,3911	1,3949	1,3988	1,4026	1,4065	1,4103	1,4142	1,4180	1,4219	1,4257
110	1,4296	1,4334	1,4372	1,4411	1,4449	1,4488	1,4526	1,4564	1,4603	1,4641
120	1,4679	1,4717	1,4756	1,4794	1,4832	1,4870	1,4909	1,4947	1,4985	1,5023

Продовження табл. Д2.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
130	1,5061	1,5100	1,5138	1,5176	1,5214	1,5252	1,5290	1,5328	1,5367	1,5405
140	1,5443	1,5481	1,5519	1,5557	1,5595	1,5633	1,5671	1,5709	1,5747	1,5785
150	1,5823	1,5861	1,5899	1,5939	1,5974	1,6012	1,6050	1,6088	1,6126	1,6164
160	1,6202	1,6239	1,6277	1,6315	1,6353	1,6391	1,6428	1,6466	1,6504	1,6542
170	1,6579	1,6617	1,6655	1,6692	1,6730	1,6768	1,6805	1,6843	1,6881	1,6918
180	1,6965	1,6993	1,7031	1,7068	1,7106	1,7144	1,7181	1,7219	1,7256	1,7294
190	1,7331	1,7369	1,7406	1,7443	1,7481	1,7518	1,7556	1,7593	1,7631	1,7668
200	1,7705	1,7743	1,7780	1,7817	1,7855	1,7892	1,7929	1,7967	1,8004	1,8041
210	1,8078	1,8116	1,8153	1,8190	1,8227	1,8264	1,8302	1,8339	1,8376	1,8413
220	1,8450	1,8487	1,8524	1,8562	1,8599	1,8636	1,8673	1,8710	1,8747	1,8784
230	1,8821	1,8858	1,8895	1,8932	1,8969	1,9006	1,9043	1,9080	1,9117	1,9153
240	1,9190	1,9227	1,9264	1,9301	1,9338	1,9375	1,9412	1,9448	1,9485	1,9522
250	1,9559	1,9596	1,9632	1,9669	1,9706	1,9743	1,9779	1,9816	1,9853	1,9889
260	1,9926	1,9963	1,9999	2,0036	2,0073	2,0109	2,0146	2,0182	2,0219	2,0255
270	2,0292	2,0329	2,0365	2,0402	2,0438	2,0475	2,0511	2,0548	2,0584	2,0620
280	2,0656	2,0693	2,0730	2,0766	2,0802	2,0839	2,0875	2,0912	2,0948	2,1347
290	2,1021	2,1057	2,1093	2,1129	2,1166	2,1202	2,1238	2,1274	2,1311	2,1708
300	2,1383	2,1419	2,1455	2,1492	2,1528	2,1564	2,1600	2,1636	2,1672	2,2069
310	2,1744	2,1781	2,1817	2,1853	2,1889	2,1925	2,1961	2,1997	2,2033	2,2428
320	2,2105	2,2141	2,2177	2,2212	2,2248	2,2284	2,2320	2,2356	2,2392	2,2786
330	2,2464	2,2500	2,2535	2,2571	2,2607	2,2643	2,2679	2,2714	2,2750	2,3143
340	2,2822	2,2857	2,2893	2,2929	2,2964	2,3000	2,3036	2,3071	2,3107	2,3143
350	2,3178	2,3214	2,3249	2,3285	2,3321	2,3356	2,3392	2,3427	2,3463	2,3498
360	2,3534	2,3569	2,3605	2,3640	2,3676	2,3711	2,3747	2,3782	2,3817	2,3853
370	2,3888	2,3924	2,3959	2,3994	2,4030	2,4065	2,4100	2,4136	2,4171	2,4206
380	2,4241	2,4277	2,4312	2,4347	2,4382	2,4418	2,4453	2,4488	2,4523	2,4558
390	2,4593	2,4629	2,4664	2,4699	2,4734	2,4769	2,4804	2,4839	2,4874	2,4909
400	2,4944	2,4979	2,5014	2,5049	2,5084	2,5119	2,5154	2,5189	2,5224	2,5259
410	2,5294	2,5329	2,5364	2,5399	2,5434	2,5468	2,5503	2,5538	2,5573	2,5608
420	2,5643	2,5677	2,5712	2,5747	2,5782	2,5816	2,5851	2,5886	2,5921	2,5955
430	2,5990	2,6025	2,6059	2,6094	2,6129	2,6163	2,6198	2,6232	2,6267	2,6302
440	2,6336	2,6371	2,6405	2,6440	2,6474	2,6509	2,6543	2,6578	2,6612	2,6647
450	2,6681	2,6716	2,6750	2,6784	2,6819	2,6853	2,6888	2,6922	2,6956	2,6991
460	2,7025	2,7059	2,7094	2,7128	2,7162	2,7231	2,7231	2,7265	2,7299	2,7334
470	2,7368	2,7402	2,7436	2,7470	2,7505	2,7573	2,7573	2,7607	2,7641	2,7675
480	2,7709	2,7743	2,7777	2,7812	2,7846	2,7914	2,7914	2,7948	2,7982	2,8016
490	2,8050	2,8084	2,8118	2,8152	2,8186	2,8253	2,8253	2,8287	2,8321	2,8355
500	2,8389	2,8423	2,8457	2,8490	2,8524	2,8592	2,8592	2,8626	2,8659	2,8693
510	2,8727	2,8761	2,8794	2,8828	2,8862	2,8929	2,8929	2,8963	2,8997	2,9030
520	2,9064	2,9097	2,9131	2,9165	2,9198	2,9265	2,9265	2,9299	2,9332	2,9366
530	2,9400	2,9433	2,9467	2,9500	2,9534	2,9600	2,9600	2,9634	2,9667	2,9701
540	2,9734	2,9767	2,9801	2,9834	2,9868	2,9934	2,9934	2,9968	3,0001	3,0034
550	3,0067	3,0101	3,0134	3,0167	3,0201	3,0267	3,0267	3,0300	3,0333	3,0367
560	3,0400	3,0433	3,0466	3,0499	3,0532	3,0598	3,0598	3,0632	3,0665	3,0698
570	3,0731	3,0764	3,0797	3,0830	3,0863	3,0929	3,0929	3,0962	3,0995	3,1028
580	3,1061	3,1094	3,1126	3,1159	3,1192	3,1258	3,1258	3,1291	3,1324	3,1357

Продовження табл. Д2.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
590	3,1389	3,1422	3,1455	3,1488	3,1521	3,1586	3,1586	3,1619	3,1652	3,1684
600	3,1717	3,1738	3,1770	3,1803	3,1838	3,1901	3,1901	3,1933	3,1966	3,1998
610	3,2031	3,2064	3,2096	3,2129	3,2161	3,2226	3,2226	3,2258	3,2291	3,2323
620	3,2356	3,2388	3,2421	3,2453	3,2485	3,2550	3,2550	3,2582	3,2615	3,2647
630	3,2679	3,2712	3,2744	3,2776	3,2809	3,2873	3,2873	3,2905	3,2938	3,2970
640	3,3002	3,3034	3,3066	3,3098	3,3131	3,3195	3,3195	3,3227	3,3259	3,3291
650	3,3323	3,3355	3,3387	3,3419	3,3451	3,3515	3,3515	3,3547	3,3579	3,3611
660	3,3643	3,3675	3,3707	3,3739	3,3771	3,3835	3,3835	3,3867	3,3899	3,3930
670	3,3962	3,3994	3,4026	3,4058	3,4090	3,4153	3,4153	3,4185	3,4217	3,4248
680	3,4280	3,4312	3,4344	3,4375	3,4407	3,4470	3,4470	3,4502	3,4533	3,4565
690	3,4597	3,4628	3,4660	3,4691	3,4723	3,4786	3,4786	3,4818	3,4849	3,4881
700	3,4912	3,4944	3,4975	3,5007	3,5038	3,5101	3,5101	3,5132	3,5164	3,5195
710	3,5226	3,5258	3,5289	3,5320	3,5352	3,5414	3,5414	3,5446	3,5477	3,5508
720	3,5539	3,5571	3,5602	3,5633	3,5664	3,5696	3,5727	3,5758	3,5789	3,5820
730	3,5851	3,5883	3,5914	3,5945	3,5976	3,6007	3,6038	3,6069	3,6100	3,6131
740	3,6162	3,6193	3,6224	3,6255	3,6268	3,6317	3,6348	3,6379	3,6410	3,6441
750	3,6472	3,6503	3,6534	3,6564	3,6595	3,6626	3,6657	3,6688	3,6719	3,6749
760	3,6780	3,6811	3,6842	3,6872	3,6903	3,6934	3,6965	3,6995	3,7026	3,7057
770	3,7087	3,7118	3,7149	3,7179	3,7210	3,7241	3,7271	3,7302	3,7332	3,7363
780	3,7393	3,7424	3,7455	3,7485	3,7516	3,7546	3,7577	3,7607	3,7637	3,7668
790	3,7698	3,7729	3,7759	3,7790	3,7820	3,7850	3,7881	3,7911	3,7941	3,7972
800	3,8002	3,8032	3,8063	3,8093	3,8123	3,8153	3,8184	3,8214	3,8244	3,8274
810	3,8305	3,8335	3,8365	3,8395	3,8425	3,8455	3,8486	3,8516	3,8546	3,8576
820	3,8606	3,8636	3,8666	3,8696	3,8726	3,8756	3,8786	3,8816	3,8846	3,8876
830	3,8906	3,8936	3,8966	3,8996	3,9026	3,9056	3,9086	3,9116	3,9145	3,9175
840	3,9205	3,9235	3,9265	3,9295	3,9324	3,9354	3,9384	3,9414	3,9444	3,9473
850	3,9503	3,9533	3,9559	3,9592	3,9622	3,9652	3,9681	3,9711	3,9740	3,9770
860	3,9800	3,9829	3,9829	3,9888	3,9918	3,9948	3,9977	4,0007	4,0036	4,0066
870	4,0095	4,0125	4,0154	4,0184	4,0213	4,0243	4,0272	4,0301	4,0331	4,0360
880	4,0390	4,0419	4,0448	4,0478	4,0507	4,0536	4,0566	4,0595	4,0624	4,0653
890	4,0683	4,0712	4,0741	4,0770	4,0800	4,0829	4,0858	4,1178	4,0916	4,0946
900	4,0975	4,1004	4,1033	4,1062	4,1091	4,1120	4,1149	4,1468	4,1207	4,1236
910	4,1266	4,1295	4,1324	4,1353	4,1382	4,1410	4,1439	4,1757	4,1497	4,1526
920	4,1555	4,1584	4,1613	4,1642	4,1671	4,1700	4,1728	4,2045	4,1786	4,1815
930	4,1844	4,1872	4,1901	4,1930	4,1959	4,1987	4,2016	4,2331	4,2074	4,2102
940	4,2131	4,2160	4,2188	4,2217	4,2246	4,2274	4,2303	4,2617	4,2360	4,2389
950	4,2417	4,2446	4,2474	4,2503	4,2531	4,2560	4,2588	4,2901	4,2645	4,2679
960	4,2702	4,2730	4,2759	4,2787	4,2816	4,2844	4,2872	4,3184	4,2929	4,2957
970	4,2986	4,3014	4,3042	4,3071	4,3099	4,3127	4,3156	4,3466	4,3212	4,3240
980	4,33268	4,3297	4,3325	4,3353	4,3381	4,3409	4,3437	4,3746	4,3494	4,3522
990	4,3550	4,3578	4,3606	4,3634	4,3662	4,3690	4,3718	4,4026	4,3774	4,3802
1000	4,3830	4,3858	4,3886	4,3914	4,3942	4,3970	4,3998	4,4306	4,4053	4,4081
1010	4,4109	4,4137	4,4165	4,4193	4,4221	4,4248	4,4276	4,4584	4,4332	4,4359
1020	4,4387	4,4415	4,4443	4,4470	4,4498	4,4526	4,4553	4,4861	4,4609	4,4636
1030	4,4664	4,4691	4,4719	4,4747	4,4774	4,4802	4,4829	4,5137	4,4884	4,4912

*Закінчення табл. Д2.5*

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1040	4,4939	4,4967	4,4994	4,5022	4,5049	4,5077	4,5104	4,5132	4,5159	4,5186
1050	4,5214	4,5241	4,5269	4,5296	4,5323	4,5351	4,5378	4,5405	4,5433	4,5460
1060	4,5487	4,5514	4,5542	4,5569	4,5596	4,5623	4,5650	4,5678	4,5705	4,5732
1070	4,5759	4,5786	4,5813	4,5841	4,5868	4,5895	4,5922	4,5949	4,5976	4,6003
1080	4,6030	4,6057	4,6084	4,6111	4,6138	4,6165	4,6192	4,6219	4,6264	4,6273
1090	4,6300	4,6327	4,6354	4,6380	4,6407	4,6434	4,6461	4,6488	4,6515	4,6541
1100	4,6568	—	—	—	—	—	—	—	—	—

**Таблиця Д2.6. Платинові ТО з  $W_{100} = 1,3850$ .**  
Залежність відношення опорів  $W_t$  від температури

Темпе- ратура, °C	Відношення опорів для температури, °C									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
-200	0,1852	—	—	—	—	—	—	—	—	—
-190	0,2283	0,2240	0,2197	0,2154	0,2111	0,2068	0,2025	0,1982	0,1938	0,1895
-180	0,2710	0,2667	0,2624	0,2582	0,2539	0,2497	0,2454	0,2411	0,2368	0,2325
-170	0,3134	0,3091	0,3049	0,3007	0,2964	0,2922	0,2880	0,2837	0,2795	0,2752
-160	0,3554	0,3512	0,3470	0,3428	0,3386	0,3344	0,3302	0,3260	0,3218	0,3176
-150	0,3972	0,3931	0,3889	0,3847	0,3805	0,3764	0,3722	0,3680	0,3638	0,3596
-140	0,4388	0,4346	0,4305	0,4263	0,4222	0,4180	0,4139	0,4097	0,4056	0,4014
-130	0,4800	0,4759	0,4718	0,4677	0,4636	0,4594	0,4553	0,4512	0,4470	0,4429
-120	0,5211	0,5170	0,5129	0,5088	0,5047	0,5006	0,4965	0,4924	0,4883	0,4842
-110	0,5619	0,5579	0,5538	0,5497	0,5456	0,5415	0,5375	0,5334	0,5293	0,5252
-100	0,6026	0,5985	0,5944	0,5904	0,5863	0,5823	0,5782	0,5741	0,5701	0,5660
-90	0,6430	0,6390	0,6349	0,6309	0,6268	0,6228	0,6188	0,6147	0,6107	0,6066
-80	0,6833	0,6792	0,6752	0,6712	0,6672	0,6631	0,6591	0,6551	0,6511	0,6470
-70	0,7233	0,7193	0,7153	0,7113	0,7073	0,7033	0,6993	0,6953	0,6913	0,6873
-60	0,7633	0,7593	0,7553	0,7513	0,7473	0,7433	0,7393	0,7353	0,7313	0,7273
-50	0,8031	0,7991	0,7951	0,7911	0,7872	0,7872	0,7792	0,7752	0,7712	0,7673
-40	0,8427	0,8387	0,8348	0,8308	0,8267	0,8269	0,8189	0,8150	0,8110	0,8070
-30	0,8822	0,8783	0,8743	0,8704	0,8664	0,8664	0,8585	0,8546	0,8506	0,8467
-20	0,9216	0,9177	0,9137	0,9098	0,9059	0,9059	0,8980	0,8940	0,8901	0,8862
-10	0,9609	0,9569	0,9530	0,9491	0,9452	0,9452	0,9373	0,9334	0,9295	0,9255
0	1,0000	0,9961	0,9922	0,9883	0,9844	0,9844	0,9765	0,9726	0,9687	0,9648
0	1,0000	1,0039	1,0078	1,0117	1,0156	1,0195	1,0234	1,0273	1,0312	1,0351
10	1,0390	1,0429	1,0468	1,0507	1,0546	1,0585	1,0624	1,0663	1,0702	1,0740
20	1,0779	1,0818	1,0857	1,0896	1,0935	1,0973	1,1012	1,1051	1,1090	1,1129
30	1,1167	1,1206	1,1245	1,1283	1,1322	1,1361	1,1400	1,1438	1,1477	1,1515
40	1,1554	1,1593	1,1631	1,1670	1,1708	1,1747	1,1786	1,1824	1,1863	1,1901
50	1,1940	1,1978	1,2017	1,2055	1,2094	1,2132	1,2171	1,2209	1,2247	1,2286
60	1,2324	1,2363	1,2401	1,2439	1,2478	1,2516	1,2554	1,2593	1,2631	1,2669
70	1,2708	1,2746	1,2784	1,2822	1,2861	1,2899	1,2937	1,2975	1,3013	1,3052
80	1,3090	1,3128	1,3166	1,3204	1,3242	1,3280	1,3318	1,3357	1,3395	1,3433
90	1,3471	1,3509	1,3547	1,3585	1,3623	1,3661	1,3699	1,3737	1,3775	1,3813
100	1,3851	1,3888	1,3926	1,3964	1,4002	1,4040	1,4078	1,4116	1,4154	1,4191
110	1,4229	1,4267	1,4305	1,4343	1,4380	1,4418	1,4456	1,4494	1,4531	1,4569
120	1,4607	1,4644	1,4682	1,4720	1,4757	1,4795	1,4833	1,4870	1,4908	1,4946
130	1,4983	1,5021	1,5058	1,5096	1,5133	1,5171	1,5208	1,5246	1,5283	1,5321
140	1,5358	1,5396	1,5433	1,5471	1,5508	1,5546	1,5583	1,5620	1,5658	1,5695
150	1,5733	1,5770	1,5807	1,5845	1,5882	1,5919	1,5956	1,5994	1,6031	1,6068
160	1,6105	1,6143	1,6180	1,6217	1,6254	1,6291	1,6329	1,6366	1,6403	1,6440
170	1,6477	1,6514	1,6551	1,6589	1,6626	1,6663	1,6700	1,6737	1,6774	1,6811
180	1,6848	1,6885	1,6922	1,6959	1,6996	1,7033	1,7070	1,7107	1,7143	1,7180
190	1,7217	1,7254	1,7291	1,7328	1,7365	1,7402	1,7438	1,7475	1,7512	1,7549



Продовження табл. Д2.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
200	1,7586	1,7622	1,7659	1,7696	1,7733	1,7769	1,7806	1,7843	1,7879	1,7916
210	1,7953	1,7989	1,8026	1,8063	1,8099	1,8136	1,8172	1,8209	1,8246	1,8282
220	1,8319	1,8355	1,8392	1,8428	1,8465	1,8501	1,8538	1,8574	1,8611	1,8647
230	1,8684	1,8720	1,8756	1,8793	1,8829	1,8866	1,8902	1,8938	1,8975	1,9011
240	1,9047	1,9084	1,9120	1,9156	1,9192	1,9229	1,9265	1,9301	1,9337	1,9374
250	1,9410	1,9446	1,9482	1,9518	1,9555	1,9591	1,9627	1,9663	1,9699	1,9735
260	1,9771	1,9807	1,9843	1,9879	1,9915	1,9951	1,9987	2,0023	2,0059	2,0095
270	2,0131	2,0167	2,0203	2,0239	2,0275	2,0311	2,0347	2,0383	2,0419	2,0455
280	2,0490	2,0526	2,0562	2,0598	2,0634	2,0670	2,0705	2,0741	2,0777	2,0813
290	2,0848	2,0884	2,0920	2,0956	2,0991	2,1027	2,1063	2,1098	2,1134	2,1170
300	2,1205	2,1241	2,1276	2,1312	2,1348	2,1383	2,1419	2,1454	2,1490	2,1525
310	2,1561	2,1596	2,1632	2,1667	2,1703	2,1738	2,1774	2,1809	2,1844	2,1880
320	2,1915	2,1951	2,1986	2,2021	2,2057	2,2092	2,2127	2,2163	2,2198	2,2233
330	2,2268	2,2304	2,2339	2,2374	2,2409	2,2445	2,2480	2,2515	2,2550	2,2585
340	2,2621	2,2656	2,2691	2,2726	2,2761	2,2796	2,2831	2,2866	2,2902	2,2937
350	2,2972	2,3007	2,3042	2,3077	2,3112	2,3147	2,3182	2,3217	2,3252	2,3287
360	2,3321	2,3356	2,3391	2,3426	2,3461	2,3496	2,3531	2,3566	2,3600	2,3635
370	2,3670	2,3705	2,3740	2,3774	2,3809	2,3844	2,3879	2,3913	2,3948	2,3983
380	2,4018	2,4052	2,4087	2,4122	2,4156	2,4191	2,4226	2,4260	2,4295	2,4329
390	2,4364	2,4399	2,4443	2,4468	2,4502	2,4537	2,4571	2,4606	2,4640	2,4675
400	2,4709	2,4744	2,4778	2,4813	2,4847	2,4881	2,4916	2,4950	2,4985	2,5019
410	2,5053	2,5088	2,5122	2,5156	2,5191	2,5225	2,5259	2,5293	2,5328	2,5362
420	2,5396	2,5430	2,5464	2,5499	2,5533	2,5567	2,5601	2,5635	2,5670	2,5704
430	2,5738	5,5772	2,5806	2,5840	2,5874	2,5908	2,5942	2,5976	2,6010	2,6044
440	2,6078	2,6112	2,6146	2,6180	2,6214	2,6248	2,6282	2,6316	2,6350	2,6384
450	2,6418	2,6452	2,6486	2,6520	2,6553	2,6587	2,6621	2,6655	2,6689	2,6722
460	2,6756	2,6790	2,6824	2,6857	2,6891	2,6925	2,6959	2,6992	2,7026	2,7060
470	2,7093	2,7127	2,7161	2,7194	2,7228	2,7261	2,7295	2,7329	2,7362	2,7396
480	2,7429	2,7463	2,7496	2,7530	2,7563	2,7597	2,7630	2,7664	2,7697	2,7731
490	2,7764	2,7798	2,7831	2,7864	2,7898	2,7931	2,7964	2,7998	2,8031	2,8064
500	2,8098	2,8131	2,8164	2,8198	2,8231	2,8264	2,8297	2,8331	2,8364	2,8397
510	2,8430	2,8463	2,8497	2,8530	2,8563	2,8596	2,8629	2,8662	2,8695	2,8729
520	2,8762	2,8795	2,8828	2,8861	2,8894	2,8927	2,8960	2,8993	2,9026	2,9059
530	2,9092	2,9125	2,9158	2,9191	2,9224	2,9256	2,9289	2,9322	2,9355	2,9388
540	2,9421	2,9454	2,9486	2,9519	2,9552	2,9585	2,9618	2,9650	2,9683	2,9716
550	2,9749	2,9781	2,9814	2,9847	2,9880	2,9912	2,9945	2,9978	3,0010	3,0043
560	3,0075	3,0108	3,0141	3,0173	3,0206	3,0238	3,0271	3,0303	3,0336	3,0369
570	3,0401	3,0434	3,0466	3,0498	3,0531	3,0563	3,0596	3,0628	3,0661	3,0693
580	3,0725	3,0758	3,0790	3,0823	3,0855	3,0887	3,0920	3,0952	3,0984	3,1016
590	3,1049	3,1081	3,1113	3,1145	3,1178	3,1210	3,1242	3,1274	3,1306	3,1339
600	3,1371	3,1403	3,1435	3,1467	3,1499	3,1531	3,1564	3,1596	3,1628	3,1660
610	3,1692	3,1724	3,1756	3,1788	3,1820	3,1852	3,1884	3,1916	3,1948	3,1980
620	3,2012	3,2043	3,2075	3,2107	3,2139	3,2171	3,2203	3,2235	3,2267	3,2298
630	3,2330	3,2362	3,2394	3,2426	3,2457	3,2489	3,2521	3,2553	3,2584	3,2616

*Закінчення табл. Д2.6*

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
640	3,2648	3,2679	3,2711	3,2743	3,2774	3,2806	3,2838	3,2869	3,2901	3,2932
650	3,2964	3,2996	3,3027	3,3059	3,3090	3,3122	3,3153	3,3185	3,3216	3,3248
660	3,3279	3,3311	3,3342	3,3374	3,3405	3,3436	3,3468	3,3499	3,3531	3,3562
670	3,3593	3,3625	3,3656	3,3687	3,3718	3,3750	3,3781	3,3812	3,3844	3,3875
680	3,3906	3,3937	3,3969	3,4000	3,4031	3,4062	3,4093	3,4124	3,4156	3,4187
690	3,4218	3,4249	3,4280	3,4311	3,4342	3,4373	3,4404	3,4435	3,4466	3,4497
700	3,4528	3,4559	3,4590	3,4621	3,4652	3,4683	3,4714	3,4745	3,4776	3,4807
710	3,4838	3,4869	3,4899	3,4930	3,4961	3,4992	3,5023	3,5054	3,5084	3,5115
720	3,5146	3,5177	3,5208	3,5238	3,5269	3,5300	3,5330	3,5361	3,5392	3,5422
730	3,5453	3,5484	3,5514	3,5545	3,5576	3,5606	3,5636	3,5667	3,5698	3,5728
740	3,5759	3,5790	3,5820	3,5851	3,5881	3,5912	3,5942	3,5972	3,6003	3,6033
750	3,6064	3,6094	3,6125	3,6155	3,6185	3,6216	3,6246	3,6276	3,6307	3,6337
760	3,6367	3,6398	3,6428	3,6458	3,6489	3,6519	3,6549	3,6579	3,6610	3,6640
770	3,6670	3,6700	3,6730	3,6760	3,6791	3,6821	3,6851	3,6881	3,6911	3,6941
780	3,6971	3,7001	3,7031	3,7061	3,7091	3,7121	3,7151	3,7181	3,7211	3,7241
790	3,7271	3,7301	3,7331	3,7361	3,7391	3,7421	3,7451	3,7481	3,7511	3,7541
800	3,7570	3,7600	3,7630	3,7660	3,7690	3,7719	3,7749	3,7779	3,7809	3,7839
810	3,7868	3,7898	3,7928	3,7957	3,7987	3,8017	3,8046	3,8076	3,8106	3,8135
820	3,8165	3,8195	3,8224	3,8254	3,8283	3,8313	3,8342	3,8372	3,8401	3,8431
830	3,8460	3,8490	3,8519	3,8549	3,8578	3,8608	3,8637	3,8667	3,8696	3,8725
840	3,8755	3,8784	3,8814	3,8843	3,8872	3,8902	3,8931	3,8960	3,8990	3,9019
850	3,9048	—	—	—	—	—	—	—	—	—

**Таблиця Д2.7. Мідні ТО з  $W_{100} = 1,4280$ .**  
Залежність відношення опорів  $W_t$  від температури

Температура, °C	Відношення опорів для температури, °C									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-200	0,1217	—	—	—	—	—	—	—	—	—
-190	0,1628	0,1586	0,1545	0,1504	0,1463	0,1422	0,1381	0,1340	0,1299	0,1258
-180	0,2058	0,2012	0,1966	0,1921	0,1875	0,1833	0,1792	0,1751	0,1710	0,1669
-170	0,2514	0,2469	0,2423	0,2378	0,2332	0,2286	0,2241	0,2195	0,2149	0,2104
-160	0,2968	0,2923	0,2878	0,2832	0,2787	0,2742	0,2696	0,2651	0,2605	0,2560
-150	0,3421	0,3375	0,3330	0,3285	0,3240	0,3195	0,3150	0,3104	0,3059	0,3014
-140	0,3871	0,3826	0,3781	0,3736	0,3691	0,3646	0,3601	0,3556	0,3511	0,3466
-130	0,4319	0,4274	0,4230	0,4185	0,4140	0,4095	0,4050	0,4005	0,3961	0,3916
-120	0,4766	0,4721	0,4676	0,4632	0,4587	0,4543	0,4498	0,4453	0,4409	0,4364
-110	0,5210	0,5166	0,5121	0,5077	0,5033	0,4988	0,4944	0,4899	0,4855	0,4810
-100	0,5653	0,5609	0,5565	0,5520	0,5476	0,5432	0,5388	0,5343	0,5299	0,5255
-90	0,6101	0,6058	0,6014	0,5970	0,5926	0,5882	0,5838	0,5795	0,5751	0,5707
-80	0,6539	0,6495	0,6452	0,6408	0,6364	0,6320	0,6277	0,6233	0,6189	0,6145
-70	0,6975	0,6932	0,6888	0,6845	0,6801	0,6757	0,6714	0,6670	0,6626	0,6583
-60	0,7411	0,7367	0,7324	0,7280	0,7237	0,7193	0,7150	0,7106	0,7063	0,7019
-50	0,7845	0,7802	0,7758	0,7715	0,7671	0,7628	0,7585	0,7541	0,7498	0,7454
-40	0,8278	0,8235	0,8192	0,8148	0,8105	0,8062	0,8018	0,7975	0,7932	0,7888
-30	0,8710	0,8667	0,8624	0,8581	0,8538	0,8494	0,8451	0,8408	0,8365	0,8321
-20	0,9141	0,9098	0,9055	0,9012	0,8969	0,8926	0,8883	0,8840	0,8797	0,8753
-10	0,9571	0,9528	0,9485	0,9442	0,9399	0,9356	0,9313	0,9270	0,9227	0,9184
0	1,0000	0,9957	0,9914	0,9872	0,9829	0,9786	0,9743	0,9701	0,9658	0,9615
0	1,0000	1,0043	1,0086	1,0128	1,0171	1,0214	1,0257	1,0299	1,0342	1,0385
10	1,0428	1,0471	1,0513	1,0556	1,0599	1,0642	1,0684	1,0727	1,0770	1,0813
20	1,0856	1,0898	1,0941	1,0984	1,1027	1,1069	1,1112	1,1155	1,1198	1,1240
30	1,1283	1,1326	1,1369	1,1412	1,1454	1,1497	1,1540	1,1583	1,1625	1,1668
40	1,1711	1,1754	1,1797	1,1839	1,1882	1,1925	1,1968	1,2010	1,2053	1,2096
50	1,2139	1,2182	1,2224	1,2267	1,2310	1,2353	1,2395	1,2438	1,2481	1,2524
60	1,2567	1,2609	1,2652	1,2695	1,2738	1,2780	1,2823	1,2866	1,2909	1,2952
70	1,2994	1,3037	1,3080	1,3123	1,3165	1,3208	1,3251	1,3294	1,3336	1,3379
80	1,3422	1,3465	1,3508	1,3550	1,3593	1,3636	1,3679	1,3721	1,3764	1,3807
90	1,3850	1,3893	1,3935	1,3978	1,4021	1,4064	1,4106	1,4149	1,4192	1,4235
100	1,4278	1,4320	1,4363	1,4406	1,4449	1,4491	1,4534	1,4577	1,4620	1,4663
110	1,4705	1,4748	1,4791	1,4834	1,4876	1,4919	1,4962	1,5005	1,5048	1,5090
120	1,5133	1,5176	1,5219	1,5261	1,5304	1,5347	1,5390	1,5432	1,5475	1,5518
130	1,5561	1,5604	1,5646	1,5689	1,5732	1,5775	1,5817	1,5860	1,5903	1,5946
140	1,5989	1,6031	1,6074	1,6117	1,6160	1,6202	1,6245	1,6288	1,6331	1,6374
150	1,6416	1,6459	1,6502	1,6545	1,6587	1,6630	1,6673	1,6716	1,6759	1,6801
160	1,6844	1,6887	1,6930	1,6972	1,7015	1,7058	1,7101	1,7144	1,7186	1,7229
170	1,7272	1,7315	1,7357	1,7400	1,7443	1,7486	1,7528	1,7571	1,7614	1,7657
180	1,7700	1,7742	1,7785	1,7828	1,7871	1,7913	1,7956	1,7999	1,8042	1,8085
190	1,8127	1,8170	1,8213	1,8256	1,8298	1,8341	1,8384	1,8427	1,8470	1,8512
200	1,8555	—	—	—	—	—	—	—	—	—

**Таблиця Д2.8. Мідні ТО з  $W_{100} = 1,4260$ .**  
Залежність відношення опорів  $W_t$  від температури

Температура, °C	Відношення опорів для температури, °C									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-50	0,7869	—	—	—	—	—	—	—	—	—
-40	0,8295	0,8253	0,8210	0,8168	0,8125	0,8082	0,8040	0,7997	0,7954	0,7912
-30	0,8722	0,8679	0,8636	0,8594	0,8551	0,8508	0,8466	0,8423	0,8381	0,8338
-20	0,9148	0,9105	0,9062	0,9020	0,8977	0,8935	0,8892	0,8849	0,8807	0,8764
-10	0,9574	0,9531	0,9489	0,9446	0,9403	0,9361	0,9318	0,9276	0,9233	0,9190
0	1,0000	0,9957	0,9915	0,9872	0,9830	0,9787	0,9744	0,9702	0,9659	0,9616
0	1,0000	1,0043	1,0085	1,0128	1,0170	1,0213	1,0256	1,0298	1,0341	1,0384
10	1,0426	1,0469	1,0511	1,0554	1,0597	1,0639	1,0682	1,0724	1,0767	1,0810
20	1,0852	1,0895	1,0938	1,0980	1,1023	1,1065	1,1108	1,1151	1,1193	1,1236
30	1,1278	1,1321	1,1364	1,1406	1,1449	1,1492	1,1534	1,1577	1,1619	1,1662
40	1,1705	1,1747	1,1790	1,1832	1,1875	1,1918	1,1960	1,2003	1,2046	1,2088
50	1,2131	1,2173	1,2216	1,2259	1,2301	1,2344	1,2386	1,2429	1,2472	1,2514
60	1,2557	1,2600	1,2642	1,2685	1,2727	1,2770	1,2813	1,2855	1,2898	1,2940
70	1,2983	1,3026	1,3068	1,3111	1,3154	1,3196	1,3239	1,3281	1,3324	1,3367
80	1,3409	1,3452	1,3494	1,3537	1,3580	1,3622	1,3665	1,3708	1,3750	1,3793
90	1,3835	1,3878	1,3921	1,3963	1,4006	1,4048	1,4091	1,4134	1,4176	1,4219
100	1,4262	1,4304	1,4347	1,4389	1,4432	1,4475	1,4517	1,4560	1,4602	1,4645
110	1,4688	1,4730	1,4773	1,4816	1,4858	1,4901	1,4943	1,4986	1,5029	1,5071
120	1,5114	1,5156	1,5199	1,5242	1,5284	1,5327	1,5370	1,5412	1,5455	1,5497
130	1,5540	1,5583	1,5625	1,5668	1,5710	1,5710	1,5796	1,5838	1,5881	1,5924
140	1,5966	1,6009	1,6051	1,6094	1,6137	1,6179	1,6222	1,6265	1,6307	1,6350
150	1,6392	1,6435	1,6478	1,6520	1,6563	1,6605	1,6648	1,6691	1,6733	1,6776
160	1,6819	1,6861	1,6904	1,6946	1,6989	1,7032	1,7074	1,7117	1,7159	1,7202
170	1,7245	1,7287	1,7330	1,7373	1,7415	1,7458	1,7500	1,7543	1,7586	1,7628
180	1,7671	1,7713	1,7756	1,7799	1,7841	1,7884	1,7927	1,7969	1,8012	1,8054
190	1,8097	1,8140	1,8182	1,8225	1,8267	1,8310	1,8353	1,8395	1,8438	1,8481
200	1,8523	—	—	—	—	—	—	—	—	—

**Таблиця Д2.9. Нікелеві ТО з  $W_{100} = 1,6170$ .**  
Залежність відношення опорів  $W_t$  від температури

Температура, °C	Відношення опорів для температури, °C									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-60	0,6945	—	—	—	—	—	—	—	—	—
-50	0,7421	0,7373	0,7325	0,7277	0,7229	0,7181	0,7134	0,7087	0,7039	0,6992
-40	0,7910	0,7860	0,7811	0,7761	0,7712	0,7663	0,7615	0,7566	0,7517	0,7469
-30	0,8412	0,8361	0,8310	0,8260	0,8209	0,8159	0,8109	0,8059	0,8009	0,7959
-20	0,8928	0,8876	0,8824	0,8772	0,8720	0,8668	0,8617	0,8565	0,8514	0,8463
-10	0,9457	0,9404	0,9350	0,9297	0,9244	0,9191	0,9138	0,9085	0,9033	0,8980
0	1,0000	0,9945	0,9890	0,9836	0,9781	0,9727	0,9673	0,9619	0,9565	0,9511
0	1,0000	1,0055	1,0110	1,0165	1,0221	1,0277	1,0332	1,0388	1,0444	1,0500
10	1,0426	1,0613	1,0669	1,0726	1,0783	1,0840	1,0897	1,0954	1,1011	1,1069
20	1,0852	1,1184	1,1242	1,1300	1,1358	1,1416	1,1475	1,1533	1,1592	1,1651
30	1,1278	1,1769	1,1828	1,1887	1,1947	1,2006	1,2066	1,2126	1,2186	1,2246
40	1,1705	1,2367	1,2428	1,2488	1,2549	1,2610	1,2671	1,2733	1,2794	1,2855
50	1,2131	1,2979	1,3041	1,3103	1,3165	1,3227	1,3290	1,3352	1,3415	1,3478
60	1,2557	1,3604	1,3667	1,3731	1,3794	1,3858	1,3922	1,3986	1,4050	1,4114
70	1,2983	1,4243	1,4308	1,4372	1,4437	1,4502	1,4567	1,4633	1,4698	1,4764
80	1,3409	1,4895	1,4961	1,5027	1,5094	1,5160	1,5226	1,5293	1,5360	1,5427
90	1,3835	1,5561	1,5628	1,5696	1,5763	1,5831	1,5899	1,5967	1,6035	1,6103
100	1,4262	1,6241	1,6311	1,6381	1,6451	1,6521	1,6591	1,6662	1,6733	1,6803
110	1,4688	1,6946	1,7017	1,7089	1,7161	1,7232	1,7305	1,7377	1,7449	1,7522
120	1,5114	1,7668	1,7741	1,7815	1,7888	1,7962	1,8036	1,8110	1,8184	1,8259
130	1,5540	1,8408	1,8484	1,8559	1,8634	1,8710	1,8786	1,8862	1,8938	1,9014
140	1,5966	1,9168	1,9245	1,9322	1,9400	1,9477	1,9555	1,9633	1,9711	1,9789
150	1,6392	1,9947	2,0026	2,0105	2,0184	2,0264	2,0344	2,0424	2,0504	2,0584
160	2,6819	2,0746	2,0827	2,0908	2,0908	2,1071	2,1153	2,1235	2,1317	2,1400
170	2,7245	2,1565	2,1648	2,1732	2,1815	2,1899	2,1983	2,2067	2,2151	2,2236
180	2,7671	—	—	—	—	—	—	—	—	—

### 1.5. Інтерполяційні залежності $W_t(t)$ для термоперетворювачів опору

**Для платиного ТО з  $W_{100} = 1,3910$ :**

$W_t = 1 + At + Bt^2 + C(t - 100)t^3$  – для діапазону температур  $-200 \dots 0$  °C;

$W_t = 1 + At + Bt^2$  – для діапазону температур  $0 \dots 600$  °C,

де  $A = 3,9692 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ;  $B = -5,8290 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$ ;  $C = -4,3303 \cdot 10^{-12} \text{ } ^\circ\text{C}^{-4}$ ;

$W_t = 1 + At + Bt^2$  – для діапазону температур  $+600 \dots +1100$  °C,

де  $B = -5,8621 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$ .

**Для платиного ТО з  $W_{100} = 1,3850$ :**

$W_t = 1 + At + Bt^2 + C(t - 100)t^3$  – для діапазону температур  $-200 \dots 0$  °C;

$W_t = 1 + At + Bt^2$  – для діапазону температур  $0 \dots +850$  °C,

де  $A = 3,9083 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ;  $B = -5,7750 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$ ;  $C = -4,1830 \cdot 10^{-12} \text{ } ^\circ\text{C}^{-4}$ .

**Для мідного ТО з  $W_{100} = 1,4280$ :**

$W_t = 1 + A(t - 13,7)$  – для діапазону температур  $-200 \dots -185$  °C;

$W_t = 1 + at + Bt(t - 10) + Ct^3$  – для діапазону температур  $-185 \dots -100$  °C;

$W_t = 1 + \alpha t + Bt(t - 10)$  – для діапазону температур  $-100 \dots -10$  °C;  
 $W_t = 1 + \alpha t$  – для діапазону температур  $-10 \dots +200$  °C,  
 де  $\alpha = 4,28 \cdot 10^{-3}$  °C<sup>-1</sup>;  $A = 4,2775 \cdot 10^{-3}$  °C<sup>-1</sup>;  $B = -5,4136 \cdot 10^{-7}$  °C<sup>-2</sup>;  
 $C = 9,8265 \cdot 10^{-10}$  °C<sup>-3</sup>.

**Для мідного ТО з  $W_{100} = 1,4260$ :**

$W_t = 1 + \alpha t$  – для діапазону температур  $-50 \dots +200$  °C,  
 де  $\alpha = 4,26 \cdot 10^{-3}$  °C<sup>-1</sup>.

**Для нікелевого ТО з  $W_{100} = 1,6170$ :**

$W_t = 1 + At + Bt^2$  – для діапазону температур  $-60 \dots +100$  °C;  
 $W_t = 1 + At + Bt^2 + C(t - 100)t^2$  – для діапазону температур  $100 \dots 180$  °C,  
 де  $A = 5,4963 \cdot 10^{-3}$  °C<sup>-1</sup>;  $B = 6,7556 \cdot 10^{-6}$  °C<sup>-2</sup>;  $C = 9,2004 \cdot 10^{-9}$  °C<sup>-3</sup>.

## 2.6. Визначення чутливості термоперетворювачів опору

**Платинові ТО:**

$dR_t/dt = R_0 [A + 2Bt + 4Ct^2 (t - 75)]$  – для діапазону температур  $-200 \dots 0$  °C;  
 $dR_t/dt = R_0 (A + 2Bt)$  – для діапазону температур  $0 \dots 1100$  °C.

**Мідні ТО з  $W_{100} = 1,4280$ :**

$dR_t/dt = AR_0$  – для діапазону температур  $-200 \dots -185$  °C;  
 $dR_t/dt = (\alpha + 2Bt - 10B + 3Ct^2)R_0$  – для діапазону температур  $-185 \dots -100$  °C;  
 $dR_t/dt = (\alpha + 2Bt - 10B)R_0$  – для діапазону температур  $-100 \dots -10$  °C;  
 $dR_t/dt = \alpha R_0$  – для діапазону температур  $-10 \dots +200$  °C.

**Мідні ТО з  $W_{100} = 1,4260$ :**

$$dR_t/dt = \alpha R_0.$$

Значення коефіцієнтів  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $\alpha$  встановлюють відповідно до п. 2.5 цього додатка.

Значення  $\Delta R_t$  можна визначити також за рівнянням

$$\Delta R_t = \Delta t (\Delta R / \Delta t_1),$$

де  $\Delta R$  – приріст опору в околі температурної точки  $t$ ;  $\Delta t_1$  – розмах околу.

**Нікелеві ТО:**

$dR_t/dt = R_0 (A + 2Bt)$  – для діапазону температур  $-60 \dots +100$  °C;  
 $dR_t/dt = R_0 [A + Bt + Ct (3t - 200)]$  – для діапазону температур  $+100 \dots +180$  °C.

## ПОДОВЖУВАЛЬНІ ТА КОМПЕНСАЦІЙНІ ПРОВІДИ<sup>1</sup>

### 3.1. Основні визначення та позначення

**Термоелектричний перетворювач (ТП)** – термоперетворювач, який містить термопару і дія якого базується на використанні залежності термоелектрорушійної сили (надалі – термо-ЕРС) термопари від температури.

**Термопара** – два провідники з різних матеріалів, які з'єднані на одному кінці й утворюють частину пристрою, що використовує для вимірювання температури термоелектричний ефект.

**Термоелектричний ефект** – генерування термо-ЕРС, яка виникає внаслідок різниці температур між двома з'єднаннями різних металів або сплавів, які утворюють частину одного й того ж контура (кола).

**Подовжувальні проводи** – проводи, виготовлені з провідників, що мають такий самий склад, як і відповідні ТП. Подовжувальні проводи позначають літерою «Х», яку проставляють після позначення ТП, наприклад, «JX».

**Компенсаційні проводи** – проводи, виготовлені з провідників, які мають склад, відмінний від складу відповідного ТП. Компенсаційні проводи позначають літерою «С», яку проставляють після позначення ТП, наприклад, «КС».

Для одного типу ТП може бути використано компенсаційні проводи з різних сплавів, які відрізняють за допомогою додаткових літер А чи В. Ці додаткові літери А чи В проставляють після позначення самого компенсаційного проводу, наприклад, «КСА», «КСВ».

**Допуск подовжувального чи компенсаційного проводу** – максимальне додаткове відхилення в мікрвольтах (мкВ) від НСХ перетворення, зумовлене введенням подовжувального чи компенсаційного проводу у вимірювальне коло.

### 3.2. Допуски для подовжувальних та компенсаційних проводів

Допуски для подовжувальних та компенсаційних проводів у діапазоні температур компенсації мають відповідати наведеному у табл. ДЗ.1.

---

<sup>1</sup> Відповідно до ДСТУ 3307–96 Перетворювачі термоелектричні. Подовжувальні та компенсаційні проводи. Допуски та система ідентифікації. – Чинний від 23.11.94.

**Таблиця ДЗ.1. Основні характеристики подовжувальних і компенсаційних проводів**

Тип проводу	Допуск до класу, мкВ (°С)		Температурний діапазон застосування проводу, °С	Максимальна температура вимірювального спаю, °С
	1	2		
<i>JX</i>	±85 (±1,5)	±140 (±2,5)	-25...200	500
<i>TX</i>	±30 (±0,5)	±60 (±1,0)	-25...100	300
<i>MX</i>	–	±60 (±1,0)	-25...100	100
<i>EX</i>	±120 (±1,5)	±200 (±2,5)	-25...200	500
<i>KX</i>	±60 (±1,5)	±100 (±2,5)	-25...200	900
<i>LX</i>	–	±100 (±2,5)	-25...200	500
<i>NX</i>	±60 (±1,5)	±100 (±2,5)	-25...200	900
<i>IX</i>	±60 (±1,5)	±100 (±2,5)	-25...200	700
<i>KCA</i>	–	±100 (±2,5)	0...150	900
<i>KCB</i>	–	±100 (±2,5)	0...100	900
<i>IC</i>	–	±100 (±2,5)	0...100	700
<i>LC</i>	–	±100 (±2,5)	0...100	500
<i>NC</i>	–	±100 (±2,5)	0...150	900
<i>RCA</i>	–	±30 (±2,5)	0...100	1000
<i>RCB</i>	–	±60 (±5,0)	0...200	1000
<i>SCA</i>	–	±30 (±2,5)	0...100	1000
<i>SCB</i>	–	±60 (±5,0)	0...200	1000
<i>AC</i>	–	±60 (±±5,0)	0...100	1000

Примітка 1. У дужках подано еквівалентні допуски в градусах Цельсія. Оскільки залежність термо-ЕРС від температури нелінійна, то допуск у градусах Цельсія залежить від температури вимірюваного спаю ТП.

Примітка 2. Діапазон температур проводу може бути зменшено відносно значень, наведених у табл. ДЗ.1, через температурні обмеження, які визначаються властивостями ізоляції.

Примітка 3. Для ТП типу *B* (типи ТП наведено в ДСТУ 2837–94) може бути використано провід із двох мідних провідників. Очікуване додаткове максимальне відхилення за температурного діапазону роботи подовжувального чи компенсаційного проводу 0...+100 °С становить 40 мкВ. Для максимальної температури вимірювального спаю +1400 °С температурний еквівалент становить +3,5 °С.

### 3.3. Система ідентифікації за кольором

1. Колір ізоляції негативного провідника для всіх типів ТП має бути БЛИМ.
2. Колір ізоляції позитивного провідника має відповідати наведеному в табл. ДЗ.2.
3. За її наявності зовнішня ізоляція має мати колір, який відповідає наведеному в табл. ДЗ.2, крім ТП для внутрішніх безпечних кіл, де колір зовнішньої ізоляції для всіх типів ТП має бути ГОЛУБИМ.



**Таблиця ДЗ.2. Колір ізоляції позитивних провідників**

Тип ТП	Колір ізоляції позитивного провідника і зовнішньої ізоляції
Мідь-константанові (мідь-мідьнікелеві*) ТМКн( <i>T</i> )	Коричневий
Хромель-константанові (нікельхроммідьнікелеві*) ТХКн( <i>E</i> )	Фіолетовий
Залізо-константанові (залізо-мідьнікелеві*) ТЗК( <i>J</i> )	Чорний
Хромель-алюмелеві (нікельхромнікельалюмінієві*) ТХА( <i>K</i> )	Зелений
Платинородій-платинові ТПП 13 ( <i>R</i> ) і ТПП 10 ( <i>S</i> )	Оранжевий
Мідь-копелеві ТМК( <i>M</i> )	Червоний
Хромель-копелеві ТХК( <i>L</i> )	Рожевий
Сильх-силінові ТСС( <i>I</i> )	Жовтий
Вольфрамрений-вольфрамрениєві ТВР ( <i>A-1, A-2, A-3</i> )	Синій

\* Назви типів ТП встановлено міжнародними стандартами.

ЕЛЕКТРОННЕ НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

## МЕТРОЛОГІЯ

Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи  
для студентів напрямку підготовки  
«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Укладач Лукінюк Михайло Васильович, ст. викл.

Відповідальний

редактор

А. І. Жученко, докт. техн. наук, проф.

Рецензент

В. М. Ковалевський, канд. техн. наук, доц.

*У авторській редакції*