

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

МЕТРОЛОГІЯ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт
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. лаборат. робіт для студ., що навчаються за напр. підгот. «Автоматизація та комп'ют.-інтегр. технології» / Уклад. М. В. Лукінюк, П. М. Сташкевич. – КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 92 с.

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

ЕЛЕКТРОННЕ НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

МЕТРОЛОГІЯ

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт
для студентів напрямку підготовки
«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Укладачі: *М. В. Лукінюк, старш. викл.
П. М. Сташкевич, старш. викл.*

Відповідальний редактор *А. І. Жученко, докт. техн. наук, проф.*

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

У авторській редакції

Загальні відомості про вимірювання та засоби вимірювальної техніки

Згідно з чинним стандартом¹ *вимірювання* – це відображення вимірюваних величин їхніми значеннями шляхом експерименту та обчислень за допомогою спеціальних технічних засобів. Подібне визначення подає також Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» від 11 лютого 1998 р. Результатом вимірювань є отримане *значення вимірюваної величини*², тобто відображення фізичної величини у вигляді числового значення з позначенням її одиниці вимірювання (не слід використовувати словосполучення «вимірювання значення величини», оскільки значення величини – це результат здійсненого вимірювання).

Для отримання інформації про *розмір* величини, тобто кількісний уміст певної фізичної величини в об'єкті вимірювання, потрібен обмін енергією між об'єктом вимірювання та технічним засобом, за допомогою якого здійснюють вимірювання. Надзвичайно важливо, щоб у процесі вимірювання втручання засобів вимірювання в досліджуване середовище не порушувало його властивостей, інакше отримана інформація буде невірогідною. На функціонування засобів вимірювання не мають впливати різні *впливні фактори* чи неінформативні параметри вхідних величин. Окрім того, під час вимірювання необхідно також урахувувати розподіл самої вимірюваної величини в просторі та часі, її зв'язок з характером досліджуваного процесу та з навколишнім середовищем. Вимірювання здійснюють за допомогою *засобів вимірювальної техніки (ЗВ)* – застосовуваних під час вимірювань технічних засобів з нормованими метрологічними характеристиками.

За точністю результату вимірювання поділяють на три класи.

1. Вимірювання з максимально можливою точністю, якої можна досягти за існуючого рівня техніки.

Це передусім еталонні вимірювання, а також вимірювання або уточнення розмірів фізичних констант, перш за все універсальних (прискорення вільного падіння і под.). До цього ж класу належать і деякі спеціальні вимірювання, що потребують високої точності.

2. Контрольно-перевірні вимірювання, похибка яких із визначеною ймовірністю не має перевищувати певних заданих значень.

До них відносять вимірювання, здійснювані органами Державної метрологічної служби у таких випадках:

– здійснення державного метрологічного контролю та нагляду за дотриманням вимог Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» та інших нормативних документів з метрології;

¹ ДСТУ 2681–94 Метрологія. Терміни та визначення. – Чинний від 26.07.94. Далі всі визначення подано відповідно до цього стандарту.

² Вимірюванню підлягають тільки фізичні величини.

- здійснення державного метрологічного контролю та нагляду за впровадженням і дотриманням стандартів;
- проведення державних випробувань і атестації ЗВТ;
- перевірка ЗВТ акредитованими Держстандартом України відомчими метрологічними службами. Ці вимірювання здійснюють такими засобами і за такими методиками, які з визначеною ймовірністю гарантують отримання такої похибки результату, яка не перевищує певного наперед заданого значення.

3. Технічні вимірювання – це вимірювання, в яких похибка результату визначається характеристиками засобів вимірювань (без внесення в них поправок на зміну зовнішніх умов, якщо останнє не перевищує меж, зазначених у паспорті ЗВТ). Прикладами таких вимірювань є технологічні вимірювання температури, тиску, витрати тощо.

За способом отримання значення вимірюваної величини вимірювання поділяють на прямі, непрямі, сукупні та сумісні.

Прямим називають вимірювання однієї величини, значення якої знаходять без перетворення її роду та без використання відомих залежностей, наприклад, вимірювання довжини лінійкою, температури термометром тощо. Прямі вимірювання є основою складніших вимірювань – непрямих.

Непрямим називають вимірювання, в якому значення однієї чи декількох вимірюваних величин знаходять після перетворення роду величини чи після обчислення за відомими залежностями їх від декількох величин (аргументів), виміряних прямо¹. Наприклад, швидкість можна обчислити за результатами вимірювань шляху та часу, густину – за результатами вимірювань маси й об'єму і т. ін.

Сукупними називають непрямі вимірювання, в яких значення декількох одночасно вимірюваних однорідних величин отримують розв'язанням системи рівнянь, які пов'язують їх з іншими величинами, виміряними прямо чи опосередковано (непрямо).

Сумісними називають непрямі вимірювання, в яких значення декількох одночасно вимірюваних різнорідних величин отримують розв'язанням рівнянь, які пов'язують їх з іншими величинами, виміряними прямо чи опосередковано. Інколи ці вимірювання називають ще *вимірюваннями залежності*, позаяк з їх допомогою знаходять кореляційну залежність між величинами, для яких (саме через їхню різнорідність) неможливо теоретично встановити функціональний зв'язок.

Вимірювання поділяють також за іншими класифікаційними ознаками: за місцем виконання – на лабораторні та промислові, за процедурою виконання в часі – на неперервні та періодичні, за формою подання результатів – на абсолютні та відносні тощо.

¹ Непрямі вимірювання, в яких значення вимірюваної величини отримують розв'язанням одного рівняння, що пов'язує її з аргументами, називають *опосередкованими*.

Розглянувши види вимірювань, можемо зробити висновок, що прямі вимірювання, будучи самостійними та найпоширенішими, водночас є основою для складніших вимірювань. З урахуванням цього методи прямих вимірювань можна вважати спільними для всіх видів вимірювань, тому далі називатимемо їх просто методами вимірювань.

Залежно від наявності чи відсутності у вимірюваннях міри розрізняють два основні методи вимірювань: метод безпосереднього оцінювання та метод порівняння з мірою. Перший має два різновиди: з відліком за шкалою та з відліком за шкалою і ноніусом. Користуючись ним, значення вимірюваної величини визначають безпосередньо за показаннями відлікового пристрою вимірювального приладу прямої дії, в якому сигнал вимірювальної інформації рухається в одному напрямі – зі входу на вихід. До таких приладів належать більшість показувальних електромеханічних приладів, механічних приладів із пружними чутливими елементами та ін. Користуючись другим методом, вимірювану величину порівнюють з величиною, відтвореною мірою. Залежно від того, є чи немає різниці між значеннями згаданих величин, метод порівняння з мірою може бути диференціальним або нульовим.

Диференціальний (різнищевий) метод передбачає вимірювання різниці між вимірюваною величиною та величиною, відтвореною мірою. У цьому випадку, навіть якщо різницю вимірюють досить грубими приладами, отримують результати з незначними похибками.

Нульовий (компенсаційний) метод можна розглядати як розвиток диференціального методу. Він відрізняється від попереднього тим, що різницю між значеннями вимірюваної величини та величини, відтвореної мірою, зводять до нуля. Збіг значень цих величин встановлюють за допомогою нуль-приладу, наприклад гальванометра.

Як нульовий, так і диференціальний методи вимірювань поділяють, у свою чергу, на методи протиставлення, заміщення та збігу¹.

Точність вимірювання є основним показником як якості вимірювання, так і ступеня досконалості вимірювальних засобів. У першому випадку точність вимірювання – це головна характеристика якості вимірювання, що відображає близькість результату вимірювання до *істинного значення* вимірюваної величини, тобто такого, яке ідеально відображало б певну властивість об'єкта. У другому – точність вимірювання є характеристикою ЗВТ, яка визначає близькість його показань до істинного значення вимірюваної величини.

На відміну від істинного значення фізичної величини, яке не можна виміряти в принципі, за *дійсне (умовно істинне) значення* фізичної величини беруть її значення, знайдене експериментально і настільки наближене до істинного, що його можна використати замість останнього для конкретної ме-

¹ Суть цих методів було розглянуто в курсі «Метрологія та основи вимірювань».

ти. У технічних вимірюваннях за дійсне значення вимірюваної величини беруть її значення, виміряне взірцевим ЗВТ¹.

Кількісно точність вимірювання найчастіше охарактеризовують числом, обернено пропорційним модулю відносної похибки: $\varepsilon = 1/|\delta|$. Наприклад, якщо $\delta = 0,001$, то $\varepsilon = 1000$. Через очевидну незручність подібну оцінку точності застосовують рідко, переважно для якісної характеристики вимірювань: низька точність, висока тощо. Тому, щоб оцінити точність як самих вимірювань, так і ЗВТ, частіше використовують похибки.

Похибкою вимірювання називають алгебричну різницю між значенням, отриманим під час вимірювання X_N , та дійсним (вимірним взірцевим приладом) значенням вимірюваної величини X_d :

$$\Delta = X_N - X_d. \quad (1)$$

За способом вираження похибки вимірювань поділять на абсолютні й відносні.

Абсолютна похибка вимірювання Δ – це і є різниця між результатом вимірювання та дійсним значенням вимірюваної величини, виражена рівнянням (1). Розмірністю абсолютної похибки є розмірність вимірюваної величини.

Відносною похибкою вимірювання називають відношення абсолютної похибки вимірювання до дійсного значення вимірюваної величини:

$$\delta = \Delta \cdot 100 / X_d. \quad (2)$$

Відносна похибка характеризує точність вимірювання і її визначають у відносних одиницях або відсотках.

За характером змінюваності під час повторних вимірювань похибки поділяють на систематичні та випадкові.

Систематична похибка – це складова похибки вимірювання, що залишається сталою або прогнозовано змінюється в ряді вимірювань однієї величини. Зазвичай це значні похибки, тому їх або враховують у подальших розрахунках, вносячи відповідні *поправки*², або вилучають схемно, конструктивно чи технологічно. Таким чином, щоб визначити уточнене значення вимірюваної величини, необхідно знайти алгебричну суму отриманих значень вимірюваної величини та поправки.

Випадкова похибка – це складова похибки вимірювання, що непрогнозовано змінюється в ряді вимірювань однієї величини. Такі похибки виявля-

¹ ДСТУ 2681–94 розрізняє два види взірцевих ЗВТ: просто взірцевий ЗВТ, призначений для вивірення інших ЗВТ і затверджений як взірцевий, і вихідний взірцевий ЗВТ, тобто такий, що має метрологічні характеристики, які відповідають найвищому ступеню вивіральної схеми метрологічної служби. Слід зазначити, що до взірцевих ЗВТ, окрім вимоги щодо їх похибки, яка не має перевищувати 1/3 похибки перевірюваного ЗВТ, висунуто також високі вимоги щодо збіжності результатів вимірювань, тобто мінімізації випадкової складової похибки вимірювання.

² *Поправкою* називають значення величини, яке алгебрично додають до результату вимірювання з метою вилучення систематичної похибки, тобто поправка – це значення систематичної похибки, узятє з протилежним знаком.

ють тоді, коли після повторних вимірювань однієї й тієї самої величини постійного розміру, здійснених однаково точно й ретельно, отримують різні результати. Випадкові похибки не можна визначити й вилучити способами, застосовуваними до систематичних похибок, оскільки для їх визначення слід виконати значну кількість повторних вимірювань. Проте, застосовуючи математичний апарат теорії ймовірностей та математичної статистики, можна уточнити результат вимірювання, оцінити і навіть зменшити випадкові похибки.

Так, використовуючи теоретичні висновки про малу ймовірність появи великих випадкових похибок, результат з *надмірною* похибкою, тобто такою, що суттєво перебільшує очікувану за даних умов похибку, відносять до аномальних результатів вимірювання (промахів) і вилучають як нехарактерну.

За місцем виникнення розрізняють інструментальні та методичні похибки вимірювань.

Інструментальна похибка – це складова похибки вимірювання, зумовлена недосконалістю конструкції ЗВТ. Такі похибки можуть виникнути, наприклад, від нестабільності параметрів схем і механізмів ЗВТ, від впливу на ЗВТ зовнішніх і внутрішніх факторів (температури, тиску, вологості, електричного та магнітного полів, зносу конструктивних елементів, старіння використаних матеріалів тощо).

Методична похибка – це складова похибки вимірювання, зумовлена неадекватністю об'єкта вимірювання та його моделі, узятій під час вимірювання. Особливістю методичних похибок є те, що їх неможливо виявити, а тим паче зменшити або вилучити ані ретельними спостереженнями, ані підвищенням точності ЗВТ, а лише створивши точнішу модель вимірюваного об'єкта.

Окрім точності, з похибками вимірювання пов'язані ще й такі характеристики якості вимірювань, як відтворюваність, правильність і збіжність.

Відтворюваність вимірювань – це характеристика якості вимірювань, що відображає близькість результатів вимірювань однієї й тієї самої величини, виконаних у різних умовах (у різний час, у різних місцях, різними методами і засобами).

Правильність вимірювань – це характеристика якості вимірювань, що відображає наближеність до нуля систематичної похибки вимірювання.

Збіжність результатів вимірювань – це характеристика якості вимірювань, що відображає близькість повторних результатів вимірювань однієї й тієї самої величини в однакових умовах.

Позаяк під час проектування систем автоматичного контролю методичні похибки для технологічних вимірювань практично виключені, а суб'єктивні зведені до мінімуму, то в першому наближенні (для технологічних вимірювань цього цілком достатньо) похибку результату вимірювання беруть рів-

ною тій похибці, якою в даній точці діапазону вимірювань характеризується використаний ЗВТ. З огляду на це розглянемо також *похибки засобів вимірювання*.

За способом вираження розрізняють абсолютні, відносні та зведені похибки ЗВТ, причому окремо вимірювальних приладів і вимірювальних перетворювачів, оскільки похибки останніх розрізняють також за входом і виходом.

Абсолютна похибка вимірювального приладу – це різниця між показанням вимірювального приладу та істинним значенням вимірюваної величини, коли немає методичних похибок і похибок від взаємодії ЗВТ з об'єктом вимірювання¹.

Абсолютна похибка вимірювального перетворювача за входом Δ_X – це різниця між значенням вхідної величини вимірювального перетворювача X_p та дійсним значенням вхідної величини X_d :

$$\Delta_X = X_p - X_d,$$

де $X_p = \varphi(Y_d)$ – значення вхідної величини вимірювального перетворювача, визначене для дійсного значення його вихідної величини Y_d за допомогою градуювальної характеристики або функції перетворення $Y = f(X)$ шляхом оберненого $X = \varphi(Y)$ перетворення (Y_d – дійсне значення вихідної величини вимірювального перетворювача, виміряне на його виході взірцевим приладом).

Отже, остаточно

$$\Delta_X = \varphi(Y_d) - X_d.$$

Абсолютна похибка вимірювального перетворювача за виходом Δ_Y – це різниця між дійсним значенням вихідної величини вимірювального перетворювача Y_d , яке відповідає вхідній величині, та значенням вихідної величини Y_p , одержаної за дійсним значенням вхідної величини за допомогою градуювальної характеристики $Y = f(X)$:

$$\Delta_Y = Y_d - Y_p,$$

де $Y_p = f(X_d)$.

Тоді

$$\Delta_Y = Y_d - f(X_d).$$

Відносною похибкою засобу вимірювання δ називають відношення абсолютної похибки ЗВТ до дійсного значення вимірюваної величини. Значення такої похибки обчислюють за формулою (2).

Хоча у згаданому ДСТУ 2681–94 і не наведено визначень відносних похибок вимірювального перетворювача за входом і виходом, однак на практиці їх використовують і визначають за формулами:

¹ Умови, за яких немає методичних похибок і похибок від взаємодії ЗВТ з об'єктом вимірювання, виникають під час перевірки ЗВТ, коли значення вхідної величини визначають за допомогою взірцевого ЗВТ. У практиці вимірювань приблизне значення похибки ЗВТ (фактично – її оцінку) визначають як різницю між показанням ЗВТ і дійсним значенням вимірюваної величини. Те саме стосується відносної похибки.

$$\delta_X = \Delta_X / X_d = [\varphi(Y_d) - X_d] / X_d;$$

$$\delta_Y = \Delta_Y / Y_p = [Y_d - f(X_d)] / f(X_d).$$

Точність ЗВТ охарактеризовує зведена похибка засобу вимірювання γ , яку визначають як відношення абсолютної похибки ЗВТ до нормувального значення вимірюваної величини $X_{\text{норм}}$:

$$\gamma = \Delta \cdot 100 / X_{\text{норм}}, \quad (3)$$

де $X_{\text{норм}}$ дорівнює одному з таких значень:

- кінцевому значенню шкали X_K (для засобів з рівномірною та ступеневією шкалою, яка починається з нульової позначки);
- діапазонаві вимірювань (для ЗВТ з «придушеним» нулем, тобто зі шкалою, що починається не з нульової позначки)¹;
- сумі кінцевих значень робочої частини шкали з нульовою позначкою посередині.

Для вимірювальних перетворювачів зведені похибки за входом і виходом визначають, підставивши у формулу (3) відповідні вирази Δ_X і Δ_Y .

Як і вимірюванням, ЗВТ також властиві розглянуті вище систематичні та випадкові похибки, а залежно від умов експлуатації виникають основна та додаткова похибки ЗВТ.

Основна похибка засобу вимірювання – це похибка за нормальних умов його експлуатації. *Нормальними* називають такі умови застосування ЗВТ, за яких впливні величини мають нормальні значення чи перебувають в інтервалі нормальних значень. Визначальні параметри нормальних умов експлуатації ЗВТ вказано в його технічному паспорті.

Додаткова похибка засобу вимірювання – це похибка, яка виникає під час використання ЗВТ у таких умовах, коли хоча б одна з впливних величин має відхилення від нормального значення або виходить за межі інтервалу нормальних значень.

За залежністю від вимірюваної величини X розрізняють похибки адитивні, мультиплікативні, лінійності та гістерезису.

Перш ніж перейти до аналізу цих типів похибок, з'ясуємо поняття, які зручно використовувати, розглядаючи залежність похибки ЗВТ від значень вимірюваної величини. Такими є поняття номінальної та реальної характеристик (функцій перетворення) ЗВТ.

Номінальною (ідеальною) f_n називають характеристику (функцію перетворення), приписану конкретному ЗВТ, зазначену в його паспорті й використовувану під час вимірювань.

Реальною f_p називають характеристику (функцію перетворення), зняту експериментально для конкретного ЗВТ.

¹ На відміну від *діапазону показань* ЗВТ, під яким розуміють інтервал значень вимірюваної величини, обмежений початковим (найменшим у діапазоні показань) і кінцевим (найбільшим) її значеннями, *діапазон вимірювань* – це інтервал значень вимірюваної величини, у межах якого нормовано похибки ЗВТ.

Через недосконалість конструкції та технології виготовлення реальна характеристика (функція перетворення) ЗВТ відрізняється від номінальної. Саме за характером цього відхилення похибки поділяють на адитивні, мультиплікативні, лінійності та гістерезису. По суті, ці терміни описують форми меж (смуг) похибок.

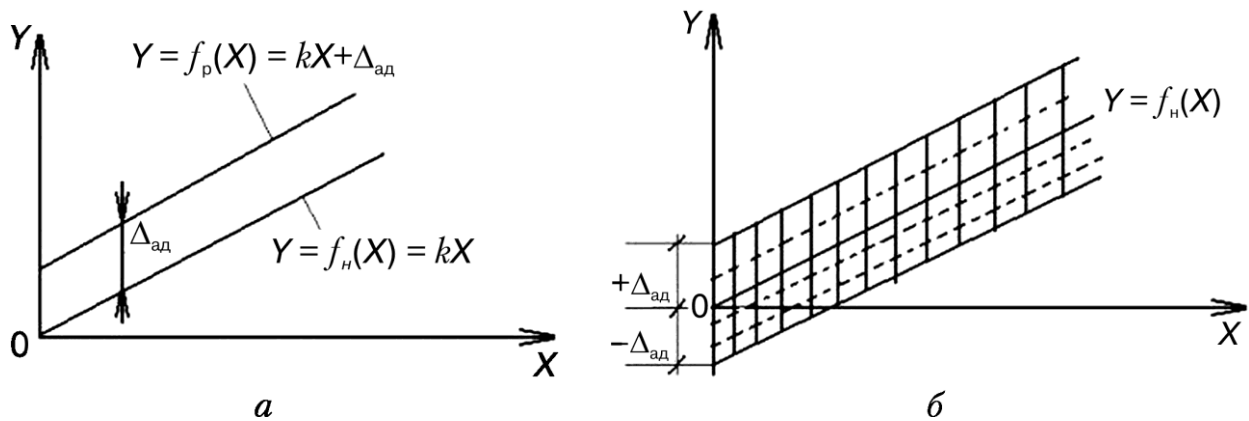


Рис. 1. Графік адитивних похибок: одиничної (а) та смуги похибок (б)

Адитивною $\Delta_{ад}$ або похибкою нуля Δ_0 називають складову абсолютної похибки ЗВТ, яка не залежить від вимірюваної величини (рис. 1). Це поняття застосовують як до випадкових, так і до систематичних похибок.

До систематичних адитивних похибок належать похибки від стороннього вантажу на шальках вагів, від неточного встановлення приладу на нуль перед вимірюванням, від термо-ЕРС в електричних колах постійного струму, від адитивної завади на вході ЗВТ тощо. Для усунення таких похибок у конструкціях багатьох ЗВТ передбачено механічний або електричний пристрій для виставлення нуля (коректор нуля).

Випадкову адитивну похибку усунути неможливо, а реальна функція перетворення ЗВТ при цьому зміщується відносно номінальної у часі непередбачуваним чином. Це призводить до того, що багаторазово зняті реальні функції перетворення ЗВТ займають на графіку певну смугу, ширина якої залишається постійною за будь-яких значень вимірюваної величини.

Тому в теорії вимірювань використовують поняття *смуги невизначенності* або *смуги похибок* конкретного приладу (перетворювача, датчика). До речі, деяку детерміновану середню лінію цієї смуги й беруть за номінальну функцію перетворення ЗВТ даного типу.

Прикладами випадкових адитивних похибок є похибки від тертя в опорах, від наведення змінної ЕРС на вході ЗВТ, похибки від шумів, контактного опору, дрейфу нуля тощо.

Мультиплікативною $\Delta_м$ або похибкою чутливості ЗВТ називають складову абсолютної похибки ЗВТ, яка пропорційна вимірюваній величині, а при $X = 0$ також дорівнює нулю.

Графічно її зображують поворотом реальної функції перетворення відносно номінальної (рис. 2). Якщо Δ_m є випадковою, то реальну функцію перетворення зображатимуть смугою похибок.

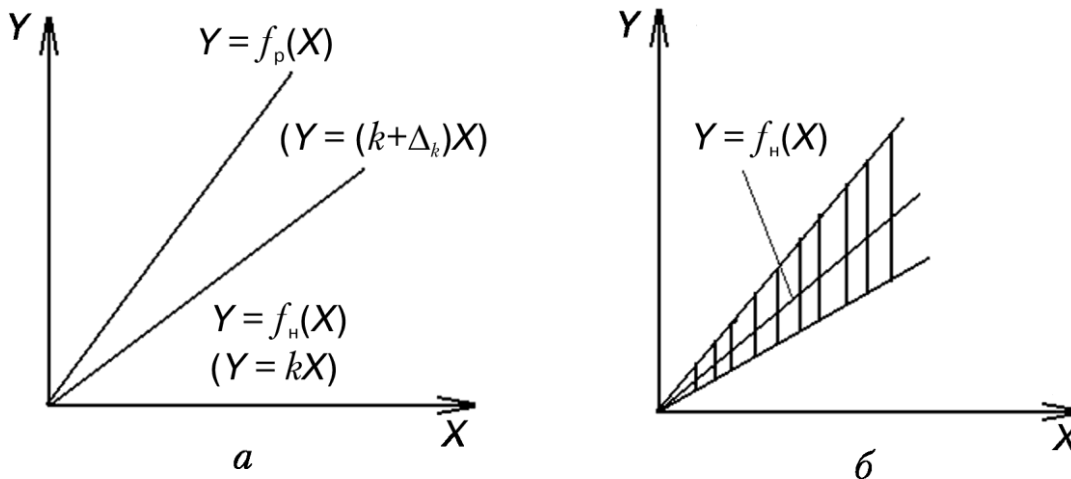


Рис. 2. Графіки мультиплікативних похибок: одиничної (а) та смуги похибок (б)

Причинами виникнення мультиплікативних похибок можуть бути: зміна коефіцієнтів перетворення окремих елементів і вузлів ЗВТ (наприклад, зміна коефіцієнта підсилення підсилювача або нагрів одного з важелів вагів сонячним промінням), зміна жорсткості мембрани манометра або пружин приладу (наприклад, спіральних пружин-струмопідводів мілівольтметра), зміна опорної напруги в цифровому вольтметрі, зміна швидкості течії вимірюваного середовища під час вимірювання його температури заглибним термометром та ін. Якщо номінальна функція перетворення є лінійною, то відхилення реальної функції перетворення від номінальної, зумовлене нелінійними ефектами, називають *похибкою лінійності* Δ_L (рис. 3). Причинами виникнення такої похибки можуть бути недосконалість конструкції (схеми) вимірювального пристрою і технології його виготовлення.

Найсуттєвішою і важкоусувною систематичною похибкою є похибка *гістерезису* або *варіація показань* ЗВТ v_Y , тобто різниця між двома показаннями ЗВТ, які відповідають одному й тому самому значенню вимірюваної величини, але отримані за підходу до цього значення з боку менших значень (на графіку – зліва), чи з боку більших (справа) (рис. 4).

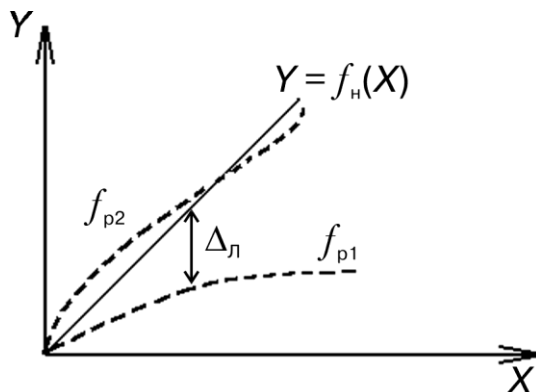


Рис. 3. Графік похибки лінійності

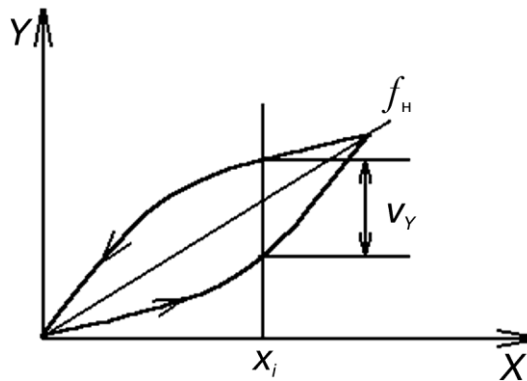


Рис. 4. Графік похибки гістерезису

До причин гістерезису належать люфт і сухе тертя в механічних передавальних елементах (фрикційних, пасових), гістерезисний ефект у феромагнітних матеріалах, внутрішнє тертя в матеріалах пружин, пружна післядія в пружних чутливих елементах, поляризація в електричних, п'єзоелектричних та електрохімічних елементах тощо.

Важливою метрологічною характеристикою ЗВТ є його *клас точності* – узагальнена характеристика, що визначається межами допустимих основної та додаткових похибок ЗВТ, а також іншими характеристиками, що впливають на точність його показань і значення яких регламентуються. Відзначимо, що для технічних ЗВТ клас точності встановлює межі припустимих значень тільки основної похибки, оскільки такі ЗВТ призначені для експлуатації в нормальних умовах, а тому прийнято вважати, що додаткових похибок у них немає.

Клас точності ЗВТ маркують на його шкалі, використовуючи додатні числа: $(1; 1,5; 2; 2,5; 4; 5; 6) \cdot 10^n$, де $n = 1, 0, -1, -2, \dots$. Для того, щоб розрізнити, яка з похибок узятя за клас точності, використовують спеціальні умовні позначення класів точності.

1. Якщо клас точності позначено у вигляді окремого числа в кружечку, це означає, що для цього ЗВТ прийнято суто мультиплікативну смугу похибок¹ і унормовано, тобто взято за клас точності, відносну мультиплікативну похибку: $K_T = \delta_m$.

У цьому разі:

- відносна похибка $\delta(X) = K_T$;
- абсолютна похибка $\Delta(X) = K_T X / 100$.

Засоби вимірювань, в яких відносна точність вимірювання не залежить від вимірюваної величини, тобто залишається сталою для будь-якої точки діапазону вимірювань, інколи називають ідеальними. Серед технічних ЗВТ до таких належать тільки ротамери.

¹ Реальний ЗВТ, як і людина, рідко «хворіє» лише одним видом похибок – зазвичай має усіх потроху, однак часто одна з них домінує над іншими.

2. Якщо клас точності позначено одним числом без кружечка і «галочки», це означає, що для цього ЗВТ прийнято суто адитивну смугу похибок, а отже, адитивна складова похибки $\Delta_{ад} = \text{const}$. Але тут нормують не абсолютну, а зведену адитивну похибку $\gamma_{ад} = \Delta_{ад} / X_k$, яку й беруть за клас точності: $K_T = \gamma_{ад}$. Тоді похибки вимірювання:

- абсолютна $\Delta(X) = \gamma_{ад} X_{норм} / 100 = K_T X_{норм} / 100$;
- відносна $\delta(X_i) = \Delta(X) / X_i = K_T (X_{норм} / X_i)$.

Тому під час вимірювання, крім відліку значення вимірюваної величини X і класу точності K_T , обов'язково слід фіксувати $X_{норм}$ (тобто верхню межу вимірювання X_k , якщо шкала приладу починається з нульової позначки, або весь діапазон вимірювання, якщо шкала починається не з нуля), інакше обчислити похибку буде неможливо.

Зазначимо: вважати, що, скажімо, вольтметр класу точності 1,0 у всьому діапазоні вимірювань забезпечує результати з похибкою $\pm 1,0\%$ – велика помилка. Насправді поточне значення відносної похибки $\delta(X) = \Delta_{ад} / X$, тобто зростає обернено пропорційно X і змінюється за гіперболою (рис. 5).

Отже, відносна похибка $\delta(X)$ дорівнює класові точності приладу K_T лише на останній позначці шкали, тобто при $X = X_k$. Якщо $X = 0,1X_k$, то похибка $\delta(X)$ у 10 разів більша $\gamma_{ад}$. Зі зменшенням вимірюваної величини X до значення $\Delta_{ад}$ відносна похибка результату вимірювання досягає: $\delta(X) = (\Delta_{ад} / \Delta_{ад}) \cdot 100 = 100\%$, а за умови подальшого зменшення X $\delta(X) \rightarrow \infty$.

Таким чином, повний діапазон $D_{п}$ вимірювання для будь-якого ЗВТ обмежується знизу порогом чутливості, а зверху – верхньою межею вимірювання. А позаяк в області малих значень X похибка вимірювання дуже велика, то робочий діапазон $D_{р}$ обмежують знизу таким значенням вимірюваної величини X , щоб відносна похибка вимірювання $\delta(X)$ не перевищувала деякого заздалегідь заданого значення δ_z , рівного, наприклад, 4, 10 чи 20 %.

Отже, робочий діапазон $D_{р}$ призначають досить довільно (рис. 5), – він становить тільки якусь частину повного діапазону ЗВТ. У цьому, власне, і полягає негативний вплив адитивної похибки, яка не дозволяє використовувати один і той самий ЗВТ для вимірювань і великих, і малих величин.

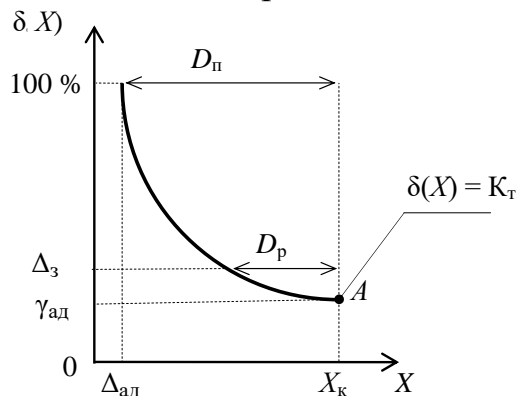


Рис. 5. Характер змінюваності відносної похибки для ЗВТ із суто адитивною смугою похибок

Абсолютну більшість технічних ЗВТ, використовуваних у технологічних вимірюваннях, унормовано саме так, тобто їхній $K_T = \gamma_{ад}$.

3. Якщо клас точності позначено у вигляді дроби $\gamma_k / \gamma_{п}$, це означає, що для цього ЗВТ одночасно враховують дві смуги похибок: і мультиплікативну, і адитивну. Тоді похибки обчислюють за такими виразами:

- відносна похибка $\delta(X_i) = \gamma_k + \gamma_{п}(|X_k / X_i| - 1)$;
- абсолютна похибка $\Delta(X_i) = \delta(X_i) X_i / 100$,

де $\gamma_k = \gamma_{ад} + \delta_m$ – сумарна зведена похибка (рис. 6).

Такі форми смуг похибок, а отже, й описані вище властивості мають високоточні потенціометри постійного струму, цифрові вольтметри та інші високоточні прилади, клас точності яких позначають не одним, а двома числами у вигляді умовного дроби $\gamma_k / \gamma_{п} = (\gamma_{ад} + \delta_m) / \gamma_{ад}$. У чисельнику такого дроби вказують зведену похибку γ_k у кінці діапазону вимірювань, а в знаменнику – зведену похибку $\gamma_{п}$ на початку діапазону.

Таким чином, зведена похибка таких ЗВТ лінійно зростає від $\gamma_{п} = \gamma_{ад}$ на початку діапазону вимірювань (при $X = 0$) до $\gamma_k = \gamma_{ад} + \delta_m$ в кінці діапазону (при $X = X_k$).

До поширених у практиці вимірювань характеристик ЗВТ також належать чутливість і поріг чутливості.

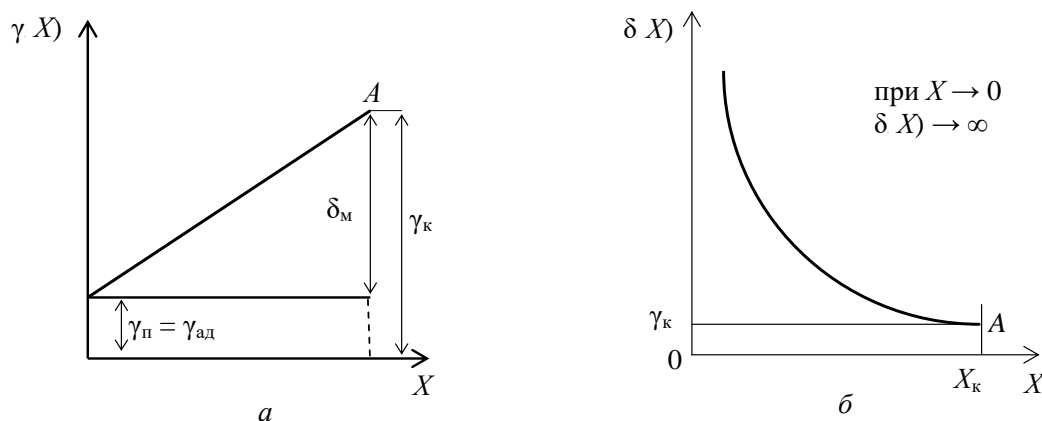


Рис. 6. Характер формування похибок ЗВТ з одночасним урахуванням мультиплікативної та адитивної смуг похибок: зведеної (а) та відносної (б)

Чутливість ЗВТ S – це відношення приросту вихідної величини Δ_y вимірювального приладу до приросту вихідної величини Δ_x , що його викликає. Стосовно перетворювачів цю характеристику зазвичай називають *коефіцієнтом передачі*. Для приладів з лінійною чи пропорційною статичною характеристикою (а отже – рівномірною шкалою), чутливість визнають як

$$S = \Delta_y / \Delta_x.$$

Чутливість ЗВТ з нелінійною статичною характеристикою (у технологічних вимірюваннях такі прилади, як правило, не використовують) у різних точках діапазону буде різною, і її визначатимуть через похідну у відповідній точці.

Чутливість обернено пропорційно пов'язана з ціною поділки S , тобто різницею значень вимірюваної величини між двома сусіднім позначкам шкали:

$$C = 1 / S.$$

Порогом чутливості ЗВТ (інколи його позначають як $\Delta_{п.ч}$) називають найменше значення вимірюваної величини, яке можна виявити за допомогою ЗВТ (для приладів це таке значення вимірюваної величини, за якого показчик відлікового пристрою зміщується на половину поділки).

Крім того, існує поняття зони нечутливості ЗВТ, тобто такого діапазону значень вимірюваної величини, у межах якого її зміни не викликають зміни показань ЗВТ.

Усі ці параметри належать до числових характеристик статичних властивостей ЗВТ, а найпоширенішими числовими характеристиками їх динамічних властивостей є стала часу T і тривалість перехідного процесу $T_{п.п.}$.

Лабораторна робота 1

СТАТИЧНІ ТА ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

Мета роботи. Вивчення методики одержання експериментальних статичних і динамічних характеристик об'єкта керування, ознайомлення з технікою обробки даних для побудови одиничної перехідної характеристики та передавальної функції об'єкта.

Теоретичні відомості

У схемах автоматизації об'єктом керування може бути окремий технологічний апарат, технологічний процес або окрема стадія виробництва. Система керування являє собою набір контурів автоматичного контролю та регулювання параметрів технологічного процесу. Властивості об'єкта керування впливають на якість роботи контуру регулювання. Під впливом зовнішніх і внутрішніх збурювальних впливів об'єкт керування змінює свій стан (технологічні параметри), а автоматичний регулятор забезпечує підтримку регульованих параметрів процесу в заданих межах. Для виконання розрахунків з настроювання автоматичного регулятора, а також при ручному керуванні технологічним процесом необхідно знати:

- статичну характеристику апарата (процесу), тобто залежність величини регульованого параметра від змін керувального впливу;
- динамічні властивості апарата (процесу), що характеризують зміну y (регульованого параметра) у часі від регульовального впливу на технологічний процес шляхом зміни одного з вхідних параметрів.

За виглядом зміни графіка динамічної характеристики можна визначати, до якого класу об'єктів керування даний апарат (процес) належить. При автоматизації процесів розрізняють прості (одно – та двоємнісні) об'єкти і складні об'єкти керування. До перших відносять апарати та процеси, які мають характеристики наведені на (рис. 1.1.).

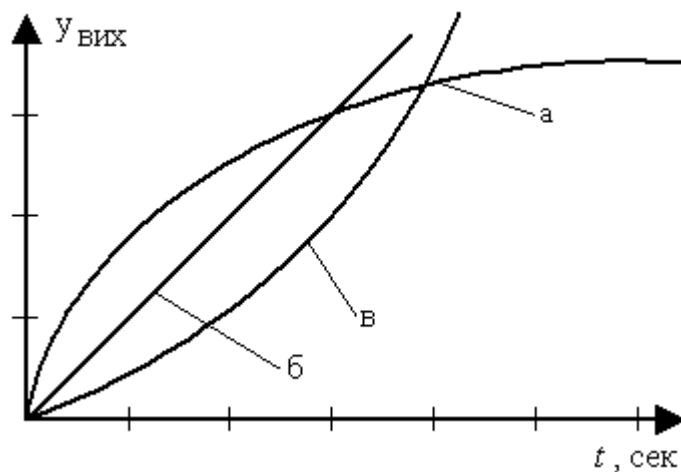


Рис. 1.1. Перехідні характеристики об'єктів керування: з позитивним самовирівнюванням (а), без самовирівнювання (б) та з негативним самовирівнюванням (в).

До складних об'єктів відносять:

- багатоємнісні об'єкти із саморегулюванням;
- об'єкти з розподіленими параметрами;
- об'єкти, в яких відхилення регульованого параметра залежить від швидкості зміни регульовального впливу.

Самовирівнювання або саморегулювання – це здатність об'єкта після збурення переходити до нового сталого стану без втручання регулятора. Динамічна характеристика об'єкта керування показує, через який час закінчиться перехідний процес у об'єкті і яке встановиться нове значення регульованого параметра. Графік статичної характеристики об'єкта показує вплив регульовального впливу на регульований параметр для різних сталих станів процесу. Статична характеристика може бути лінійною або нелінійною.

Статичні і динамічні характеристики об'єкта керування можна одержати за допомогою математичного моделювання процесу в об'єкті. Такий метод не дає високої точності характеристик, тому що при моделюванні в розрахункові залежності вводяться багато різних припущень щодо протікання процесу. Експериментальне визначення статичних і динамічних характеристик дозволяє одержувати для задач автоматизації залежності, що найкраще показують властивості об'єкта керування, однак вони можуть бути застосовані лише щодо досліджуваного об'єкта (математичні ж моделі є більш універсальними).

Опис лабораторної установки

Схема лабораторної установки наведена на рис. 1.2.

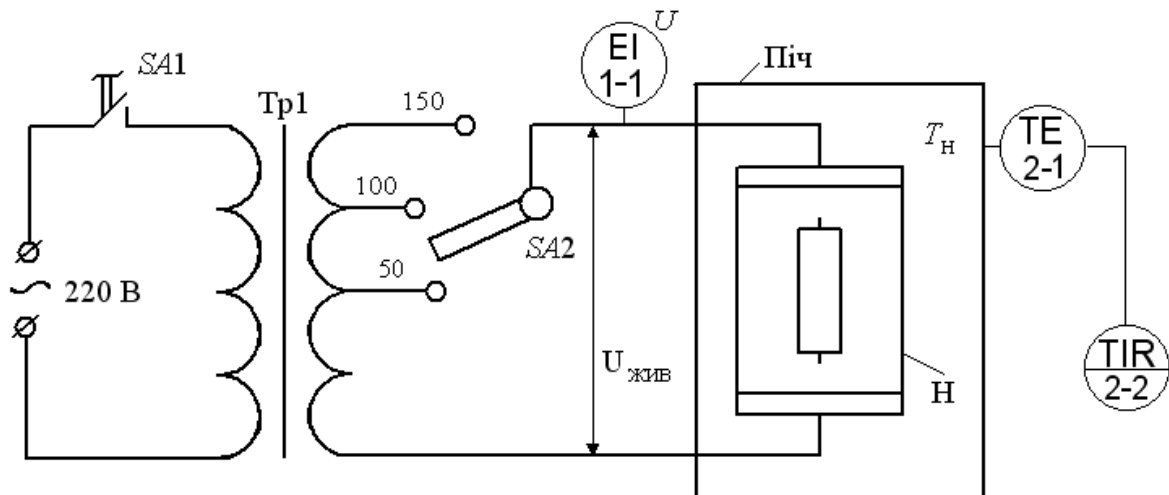


Рис. 1.2 Схема лабораторної установки

Об'єктом керування є піч з нагрівачем Н. Зміна напруги живлення $U_{\text{жив}}$ на нагрівачі викликає зміну температури нагрівання $T_{\text{н}}$. Напруга живлення $U_{\text{жив}}$ змінюється за допомогою перемикача SA2 на трансформаторі Тр1. Величина $U_{\text{жив}}$ на виході трансформатора контролюється вольтметром (поз. 1-1). Темпера-

тура у печі вимірюється термопарою (поз.2-1) і показується на шкалі самописного автоматичного потенціометра КСП-4 (поз. 2-2). Напруга живлення подається на лабораторну установку тумблером SA1. Для лабораторної печі температура T_n є регульованим параметром, а напруга живлення $U_{жив}$ – керувальним впливом на об'єкт керування. Тому статичну характеристику буде відбивати залежність $T_n = f_1(U_{жив})$.

Порядок виконання лабораторної роботи

1. Подати на лабораторний стенд напругу живлення і прогріти піч:– увімкнути 220 В тумблером SA1;

– перемикач SA2 встановити в положення $U_{жив} = 100$ вольт;

– за шкалою автоматичного потенціометра спостерігати за температурою прогріву печі T_n до сталого стану.

2. **Завдання 1.** Сформувати керувальний вплив $\Delta U_{жив}$ шляхом збільшення напруги живлення на нагрівачі і зняти часову перехідну характеристику $T_n = f_2(t)$:

– перемикач SA2 перевести в положення 150 вольт;

– зміни температури нагрівання T_n у часі записувати через рівні інтервали часу (15 сек) згідно таблиці 5.1 до досягнення нею сталого значення.

3. **Завдання 2.** При новому сталому тепловому режимі у печі сформувати керувальний вплив $\Delta U_{жив}$ шляхом зменшення напруги живлення на нагрівачі:

– перемикач SA2 перевести з положення 150 вольт на 50 вольт;

– зміни температури нагрівання T_n у часі записувати через рівні інтервали часу (15 сек) згідно таблиці 1.1 до досягнення нею нового сталого значення .

4. Значення T_n для сталих теплових режимів печі записати у таблицю 5.2 і побудувати статичну характеристику $T_n = f_1(U_{жив})$.

Обробка результатів

За даними таблиці 5.1 (**завдання 1**) побудуйте часову перехідну характеристику зміни температури $T_n = f_2(t)$, яка у загальному випадку має вигляд, наведений на рис. 1.3.

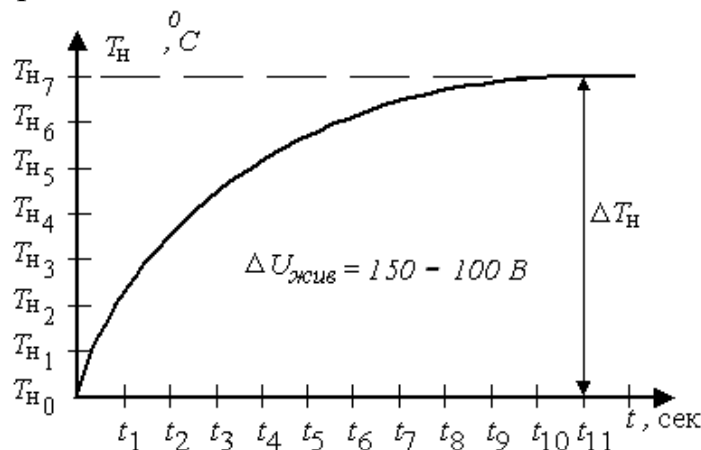


Рис. 1.3. Часова перехідна характеристика печі (завдання 1)

За даними таблиці 1.1 (завдання 2) побудуйте часову перехідну характеристику зміни температури $T_H = f_3(t)$, яка у загальному випадку має вигляд, наведений на рис. 1.4.

Для порівняння двох перехідних характеристик температури T_H , які являють собою реакцію теплового об'єкта керування (печі) на різні збурювальні впливи і для визначення параметрів передавальної функції печі потрібно пронормувати ΔT_H за величиною збурення, тобто з часових характеристик $f_2(t)$, $f_3(t)$ одержати нормовані перехідні характеристики $h(t)$.

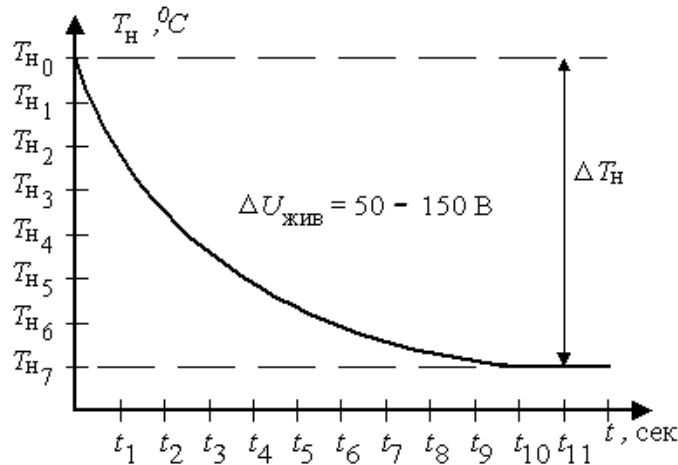


Рис.5.4. Часова перехідна характеристика печі (завдання 2).

1. Значення $h(t)$ розрахувати за даними таблиць 5.1 (для завдань 1 і 2), а результати розрахунків записати у таблицю 1.3.

Таблиця 5.3

t_i , сек	0	t_1	t_2	t_3	...
T_H , °C	T_{H0}	T_{H1}	T_{H2}	T_{H3}	...
$\Delta U_{жив}$, В	50В	50В	50В	50В	...
$h(t) = (T_{Hi} - T_{H0})/\Delta U_{жив}$, °C/В	0	$h_1(t)$	$h_2(t)$	$h_3(t)$...

2. За даними таблиці 5.3 для завдань 1 і 2 побудуйте графіки нормованих перехідних характеристик $h(t)$, які у загальному випадку мають вигляд, наведений на рис. 5.5.

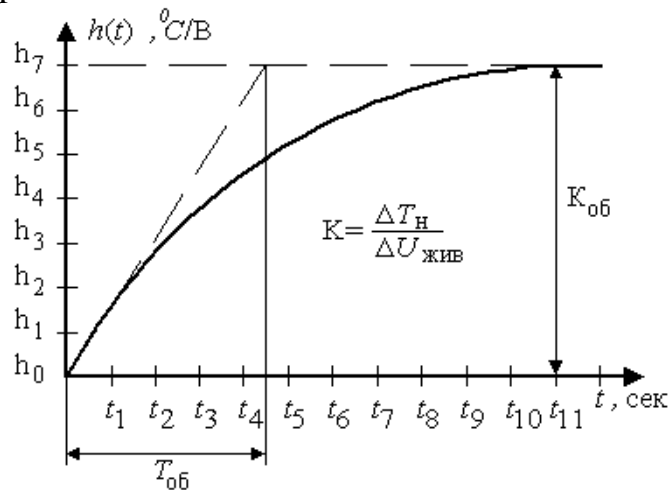


Рис. 1.5. Нормована перехідна характеристика об'єкта керування

3. За параметрами нормованих перехідних характеристик печі запишіть передавальну функцію $W(p)$ для каналу зміни температури нагрівання T_n від зміни напруги живлення нагрівача $U_{\text{жив}}$ у наступному вигляді

$$W(p) = \Delta T_n / \Delta U_{\text{жив}} = K_{\text{об}} / (T_{\text{об}} + 1) \quad (5.1)$$

де $K_{\text{об}}$ – коефіцієнт передачі (посилення) об'єкта керування; $T_{\text{об}}$ – стала часу об'єкта керування, яка показує, за який час після завдання збурення на вході в печі встановилося б нове усталене значення температури, якби вона змінювалася з постійною швидкістю, рівною швидкості її зміни в момент подачі збурювального (керувального) впливу.

6. За даними таблиці 5.2 побудуйте статичну характеристику зміни температури нагрівання T_n у залежності від напруги живлення нагрівача печі.

7. Розрахуйте значення $T_n(t_i)$ і побудуйте графік перехідної характеристики зміни температури T_n у часі від зміни напруги живлення $U_{\text{жив}}$ з 50 вольт до 80 вольт. Значення $T_n(t_i)$ розрахувати за залежністю

$$T_n(t_i) = T_{n0} + K_{\text{об}}(1 - e^{-t_i/T_{\text{об}}}) \Delta U_{\text{жив}}. \quad (5.2)$$

Оформлення звіту

Звіт про виконану роботу повинен містити схему лабораторної установки, таблиці даних, графіки отриманих статичної та динамічних характеристик об'єкта керування, а також графік перехідної характеристики, розрахованої за залежністю (5.2).

Лабораторна робота 2

ВИЗНАЧЕННЯ ПОХИБОК ТЕРМОПАР

Мета роботи. Вивчити принцип дії та будову термопар, методику їх вивірення, виконати перевірку термопар.

Теоретичні відомості

В основу вимірювання температури термоелектричними перетворювачами (ТП) покладено термоелектричний ефект, суть якого полягає в тому, що в замкненому колі, складеному з двох чи декількох різнорідних провідників, виникає термо-ЕРС, якщо хоча б два місця сполучення (спаї) провідників мають різну температуру. Контактна різниця потенціалів у точці спаю обумовлена відмінністю об'ємної концентрації вільних електронів у різних матеріалах за однієї й тієї самої температури як наслідок роботи виходу електронів.

Виходячи з теорії термоелектричного ефекту, можна констатувати такі положення:

- значення термо-ЕРС залежить від матеріалу електродів, які утворюють термопару;
- значення термо-ЕРС, яку розвиває термопара, залежить від різниці температур гарячого t та холодного t_0 спаїв;
- температура холодного спаю (вільних кінців) має підтримуватися постійною та мати визначене значення – це забезпечить залежність термо-ЕРС тільки від температури робочого (гарячого) спаю;
- якщо вільний кінець термопари перебуває в зоні змінної температури, слід застосовувати подовжувальні термоелектродні провідники, переносячи вільний кінець у зону з постійною відомою температурою;
- замість термостатування вільних кінців термопари використовують компенсаційний пристрій у вигляді незрівноваженого моста, який забезпечує автоматичне внесення поправки на відхилення температури холодного спаю від температури градування;
- у разі підключення термопари до автоматичного потенціометра необхідність у термостатуванні холодного спаю чи використанні згаданого автокомпенсатора відпадає, оскільки в автоматичних потенціометрах коливання температури холодного спаю компенсується автоматично.

Конструкція термопар

Промислові термопари можна поділити на три основні групи:

- 1) із благородних металів;
- 2) із неблагородних металів;
- 3) із металевих термоелектродів разом з неметалевими.

Із першої групи найбільшого застосування набули платиновородій-платинові термопари, один термоелектрод яких виготовлено зі сплаву родію (10 %) та платини (90 %), а інший – із чистої платини.

Термопари з неблагородних металів широко застосовують для вимірювань температури в різних технічних галузях.

Термопари з металевих термоелектродів у парі з неметалевими застосовують для вимірювання найвищих температур.

У вітчизняній промисловості виготовляють стандартні термопари дев'яти градувань (дод. 1).

Термопара складається з термоелектродів, розділених керамічними ізоляторами, захисного керамічного або сталевого корпусу і головки з холодними спаями (рис. 1.1).

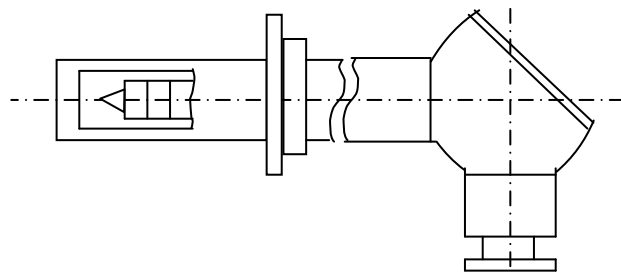


Рис. 1.1. Схема термопари

Захисні трубки виготовляють з газозахисного, теплопровідного, стійкого до коливань температури, механічно міцного і жаростійкого матеріалу, який при високих температурах не виділяє газів та парів, які шкідливо діють на електроди. Для металевих захисних трубок використовують сталі 1Х18Н9Т, Х257Т, 2Х13, рідше – мідь, латунь, сталь 20.

Неметалеві захисні трубки з фарфору, кварцу, оксиду алюмінію, графіту застосовують головним чином для армування термопар із благородних металів, а також для вимірювання температури розплавлених металів.

Термопари кріплять пересувним фланцем або нерухомим нарізним штуцером (другий спосіб застосовують для високих тисків).

Методика градуювання термопар

Термопари градуують двома способами:

- з використанням термосталих точок твердіння або кипіння хімічно чистих речовин (так звані реперні точки);
- шляхом порівняння з показаннями взірцевої термопари.

В обох випадках градуювання зводиться до визначення залежності термо-ЕРС термопари від температури гарячого спаю (при постійній температурі холодних спаїв, термостатованих, як правило, при 0 або 20 °С). Під час перевірки термо-ЕРС вимірюють переносним потенціометром або мілівольтметром.

Найскладніше під час перевірки урівняти температури взірцевої та випробовуваної термопар, при цьому робочі спаї обох термопар мають перебувати в одній точці. Для виключення градієнтів температури термопари зазвичай вміщують у металеве осердя (вкладиш). Щоб запобігти виникненню конвективних потоків, використовують горизонтальні печі з закритими боковими отворами. Холодні спаї термопар занурюють в окремі пробірки з маслом, вміщені в термостат або дьюарівську посудину. Градуюючи термопари, важливо знати фактичну температуру холодного спаю.

Нові термопари, як правило, градуують за трьома-чотирма рівномірно розподіленими точками шкали, а термопари, що були в експлуатації, – через кожні 50 чи 100 °С. У момент перевірки швидкість зміни температури в печі не має перевищувати 1...2 °С протягом 5 хв. Тому температуру слід регулювати автоматично. За взірцеві найчастіше беруть платинородій-платинові термопари.

Опис лабораторної установки

Установка (рис. 1.2) складається з електропечі 2, в якій розміщено три термопари. Температура в печі в момент вимірювання підтримується постійною електронним потенціометром 4 з позиційним регулятором. Датчиком потенціометра служить термопара 3. Перевірювані термопари 6 і 7 за допомогою перемикача 8 по черзі підключають до лабораторного потенціометра 9. Автотрансформатор 1 дозволяє вручну змінювати напругу, що подається на електропіч, а вольтметр 5 слугує для контролю напруги, яка подається на нагрівник.

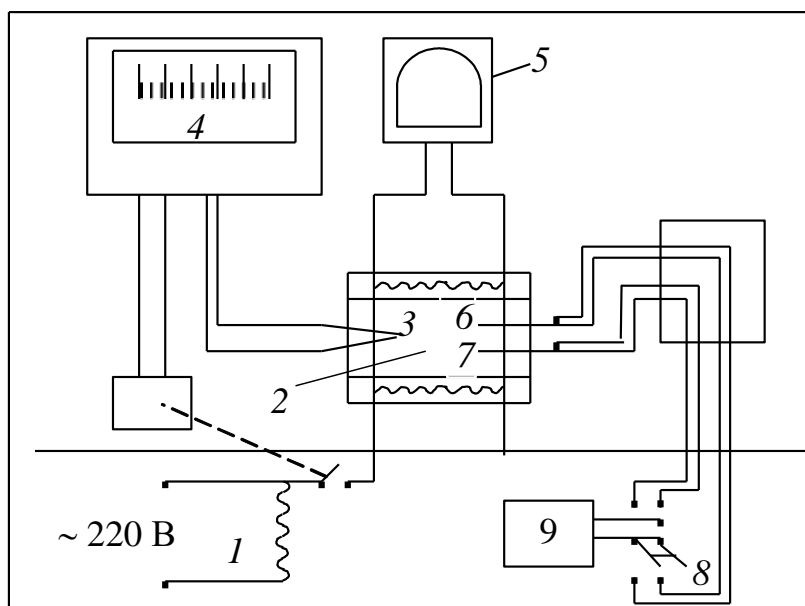


Рис. 1.2. Схема установки для перевірки термопар

Послідовність виконання роботи

1. Ознайомитися зі схемою установки, підготувати її до роботи.
2. Подати напругу на піч, попередньо встановивши задатчик на позначку 100 °С.
3. Підготувати таблицю (табл. 1.1).
4. Виміряти термо-ЕРС у вказаних температурних точках.

Термопару типу ТХА (K) перевіряють, порівнюючи її показання з показаннями взірцевої термопари типу ТПП (R)¹.

Таблиця 1.1

Номер дослідження	Показання термопар при реальній температурі вільних кінців, мВ		Температура вільних кінців t_0 , °С	Поправка на температуру вільних кінців, мВ		Термо-ЕРС термопар при $t_0 = 0$, °С		Температура за показаннями термопар, °С		Похибка вимірювань, %
	взірцевої	перевірюваної		взірцевої	перевірюваної	взірцевої	перевірюваної	взірцевої	перевірюваної	

Обробка результатів

Температури за даними вимірювань термо-ЕРС потрібно розрахувати за допомогою градувальних таблиць (дод. 1) у такій послідовності:

- 1) за виміряною температурою вільних кінців t_0' визначити поправку $E(t_0')$ термо-ЕРС;
- 2) розрахувати термо-ЕРС при температурі вільних кінців $t_0 = 0$ °С:

$$E(tt_0) = E(tt_0') + E(t_0'),$$

де $E(tt_0)$ – термо-ЕРС при температурі вільних кінців 0 °С; $E(tt_0')$ – виміряна термо-ЕРС; $E(t_0')$ – поправка на температуру вільних кінців;

- 3) визначити за градувальними таблицями температури взірцевої та перевірюваної термопари, які відповідають розрахунковим значенням термо-ЕРС;
- 4) обчислити похибку вимірювання для кожного дослідження як різницю показань взірцевої та перевірюваної термопар;
- 5) визначити максимальну зведену похибку у відсотках за формулою

$$\gamma_{\max} = \frac{\Delta t_{\max}}{t_{\text{гран}}} \cdot 100,$$

¹ Сучасні позначення номінальних статичних характеристик термопар подано у дод. 1.

де Δt_{\max} – максимальна абсолютна похибка, °С; $t_{\text{гран}}$ – верхня границя вимірювання температури.

Оформлення звіту

Звіт має містити короткі теоретичні відомості, схему установки, результати вимірювань та розрахунків.

Лабораторна робота 3

ПЕРЕВІРЯННЯ ВИМІРЮВАЧІВ ТИСКУ ТА РОЗРІДЖЕННЯ

Мета роботи. Ознайомитися з принципом дії та конструкцією приладів для вимірювання тиску та розрідження, а також вторинних приладів системи «Старт»; виконати перевірку манометрів і вакуумметра.

Теоретичні відомості

Тиск P характеризує напружений стан матерії в твердому, рідкому чи газоподібному стані. Його визначають як відношення нормальної до поверхні та рівномірно розподіленій по ній сили N до площі цієї поверхні S : $P = N / S$.

Одиниця тиску в системі СІ – паскаль (Па), $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$. У зв'язку з тим, що така одиниця тиску надто мала, у техніці широко застосовують іншу одиницю тиску – технічну атмосферу ($1 \text{ кгс/см}^2 = 9,81 \cdot 10^4 \text{ Па} \approx 0,1 \text{ МПа}$). Під час технічних вимірювань дозволено застосовувати також одиниці: бар ($1 \text{ бар} = 10^5 \text{ Па} = 0,1 \text{ МПа}$), міліметр ртутного стовпчика ($1 \text{ мм рт. ст.} = 133,32 \text{ Па}$), міліметр водного стовпчика ($1 \text{ мм вод. ст.} = 9,81 \text{ Па}$).

Розрізняють тиск абсолютний і надлишковий (рис. 2.1).

Абсолютним називають тиск, вимірюваний від точки абсолютного вакууму (нуля абсолютного тиску). Абсолютний вакуум виникає за мізерної кількості молекул газу, тобто якщо немає молекулярного тиску. Тиск земної атмосфери, вимірюваний на рівні моря і рівний 760 мм рт. ст. ($101\,325 \text{ Па}$) абсолютного тиску, узятю за стандартний *атмосферний* тиск.

Дійсне значення абсолютного тиску коливається відносно стандартного в деяких межах. *Надлишковий* тиск – це різниця між абсолютним і атмосферним тиском.

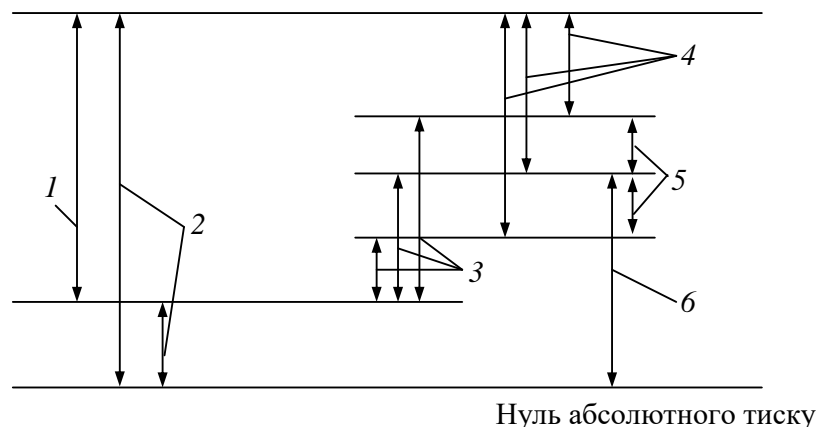


Рис. 2.1. Види тисків: 1 – різниця тисків; 2 – абсолютний тиск; 3 – вакуум; 4 – надлишковий тиск; 5 – зміна атмосферного тиску; 6 – атмосферний тиск

Якщо абсолютний тиск нижче атмосферного, то з'являється від'ємний надлишковий тиск, який називають *вакуумом* (розрідженням). Методи вимі-

рювання тиску, як і вимірювання зосереджених сил, деформацій, механічних напруг, обертальних моментів тощо, можна розділити на методи прямого та зрівноважувального перетворення.

Прямий метод передбачає перетворення вимірюваного тиску в одному (прямому) напрямку до вихідної величини включно. В основу методу зрівноважування покладено порівняння вимірюваного тиску з відомим доти, доки їх різниця не стане рівною нулю.

Датчики та прилади тиску класифікують за видом вимірюваного тиску, за принципом дії, за формою перетворення корисного сигналу, за метрологічними характеристиками та ін.

Залежно від виду та значення вимірюваного тиску прилади поділяють на:

- барометри (для вимірювання атмосферного тиску);
- манометри (для вимірювання додатних надлишкових тисків);
- мікроманометри або напороміри (для вимірювання додатних надлишкових тисків до 5 000 Па);
- вакуумметри (для вимірювання від'ємних надлишкових тисків);
- мікروвакуумметри або тягоміри (для вимірювання від'ємних надлишкових тисків до –5 000 Па);
- мановакуумметри;
- мікромановакуумметри або тягонапороміри (для вимірювання надлишкових тисків до $\pm 5\,000$ Па);
- диференціальні манометри (для вимірювання різниці тисків).

За принципом дії технічні засоби для вимірювання тиску поділяють на рідинні, рідинно-механічні, деформаційні, поршневі, електричні та ін.

Рідинні вимірювачі тиску. Вирізняються простотою конструкції і порівняно високою точністю вимірювання, тому їх застосовують для лабораторних вимірювань, а також як взірцеві для градуювання та перевірки приладів інших систем.

Рідинні вимірювачі побудовані за принципом зрівноваження тиском стовпа робочої рідини. Якщо на поверхню такої рідини з густиною ρ діє тиск P , то в трубці, опущеній у рідину, спостерігатиметься підйом рівня рідини до висоти h , за якої тиск стовпа рідини стане рівним вимірюваному тиску. Мірою тиску є різниця рівнів рідини: $h = P / (\rho g)$, де g – прискорення сили тяжіння. Як робочі рідини використовують спирт ($\rho_{20} = 0,82 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$), гас ($\rho_{20} = 0,82 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$), ртуть ($\rho_{20} = 13,55 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$), воду та ін.

Похибка визначення висоти стовпа рідини Δh , на виникнення якої впливають неточність градуювання шкали, неточність відліку, капілярні сили тощо, не перевищує ± 2 мм. Відносна похибка δ визначення густини середовища, яка залежить від хімічної чистоти манометричної рідини, наявності в ній домішок та розчинених газів, не перевищує $\pm 0,1$ %.

Рідинні манометри бувають як шкальні, так і безшкальні з перетворенням вимірюваної величини у пневматичний чи електричний сигнали.

Деформаційні вимірювачі тиску. Манометри та вакуумметри з пружними елементами широко застосовують для вимірювання тиску та величин, пов'язаних із ним. Простота будови, надійність у роботі, мала інерційність, компактність та великий діапазон вимірюваних тисків обумовили їх широке використання як технічних та взірцевих вимірювачів. Потрібна точність вимірювання досягається використанням відповідного методу вимірювань – прямого чи зрівноважувального перетворення вимірюваної величини.

Чутливим елементом, що сприймає вимірюваний тиск, слугує манометричний пружний елемент, який може мати вигляд порожнистої одновиткової (трубка Бурдона) або багатовиткової трубчатої пружини, мембрани (плоскої чи гофрованої) або мембранної коробки, а також сільфона, який часто застосовують разом з гвинтовими циліндричними пружинами (рис. 2.2).

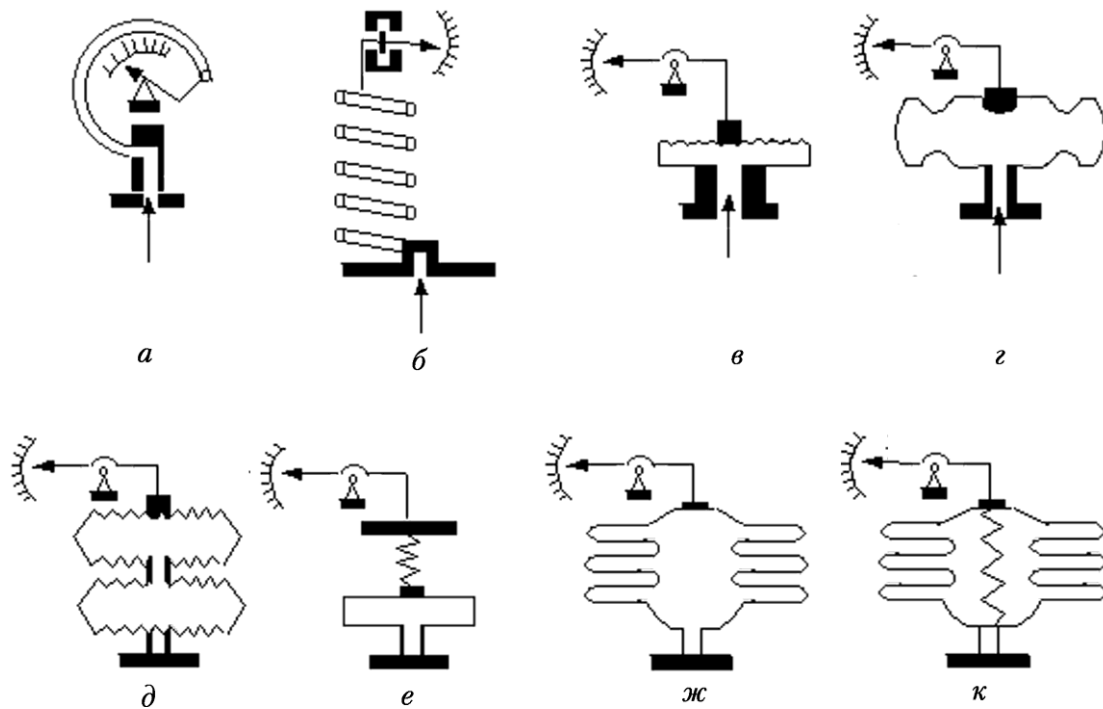


Рис. 2.2. Пружні елементи деформаційних манометрів:
а, б – трубчаті пружини; *в, г, д, е* – мембрани; *ж, к* – сільфони

Широкого застосування набули показувальні манометри з трубчатою одновитковою пружиною. До переваг такого перетворювача слід віднести простоту та невисоку вартість виготовлення. Строге дотримання технології виготовлення трубчатої пружини та передавального механізму дозволяє створити манометри, які задовольняють вимоги не лише технічних (класи точності 0,6...4), але й взірцевих (класи точності 0,2 і навіть 0,1) приладів.

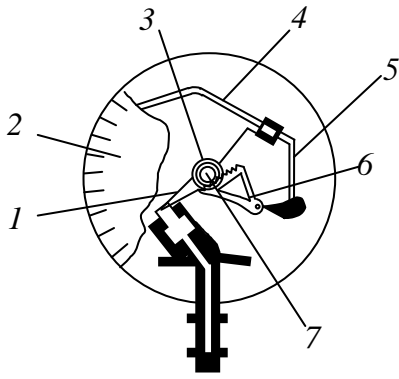


Рис. 2.3. Пружинний манометр

Схему приладу з одновитковою трубчатою пружиною показано на рис. 2.3. Прилад забезпечує механічне перетворення переміщення пружини 4, яке відбувається під дією вимірюваного тиску, на поворот стрілки 1 відносно шкали 2. Передавальний механізм складається з тяги 5, зубчастого сектора 6 та шестерні 7, на вісь обертання якої насаджено стрілку. Щоб запобігти виникненню люфтів, у передачі використано спіральну пружину 3.

Електричні вимірювачі тиску.

В основу роботи цих вимірювачів покладено властивість деяких матеріалів змінювати свої електричні властивості під дією тиску. Такі матеріали застосовують у первинних перетворювачах тиску в електричний сигнал, до яких зокрема належать омичні (або манометри опору), п'єзоелектричні, магнітопружні та ін.

Манометри опору застосовують для вимірювання високих тисків. Первинним перетворювачем у них зазвичай є манганіновий провідник. Перевага манганіну перед іншими матеріалами полягає в його мізерно малому температурному коефіцієнті електричного опору, що забезпечує незалежність показань манометра опору від температури навколишнього середовища. Манганінові перетворювачі мають відносно високу чутливість вимірювання опору під дією тиску в діапазоні 100...400 МПа.

Робота п'єзоелектричних манометрів ґрунтується на явищі п'єзоєфекту – властивості деяких кристалічних речовин (кварцу, титанату барію, сегнетової солі, турмаліну та ін.) створювати електричні заряди під дією механічного навантаження.

Магнітопружні манометри побудовані на основі магнітопружних перетворювачів тиску в електричний сигнал. Магнітопружний ефект виникає зі зміною магнітної проникності деяких матеріалів під дією механічних напруг або деформацій. Якщо з такого матеріалу виготовити осердя і розмістити на ньому обмотку (або дві трансформаторні обмотки), то індуктивний електричний опір обмотки (або вторинної обмотки) буде змінюватися зі зміною магнітної проникності осердя, тобто зміною зовнішнього механічного навантаження. Таким чином, магнітопружні перетворювачі за своїми властивостями аналогічні взаємоіндуктивним.

До недоліків магнітопружних перетворювачів слід віднести розбіжність показань зі збільшенням чи зменшенням тиску через наявність магнітного гістерезису, вплив температури навколишнього середовища та напруги живлення на вихідний сигнал перетворювача, нестабільність у часі магнітних властивостей матеріалу осердя. Основна зведена похибка магнітопружних перетворювачів становить 3...5 %.

Незважаючи на низьку точність, завдяки простоті конструкції, відсутності рухомих частин, високій надійності та низькій вартості ці вимірювачі широко застосовують для вимірювання сили, тиску та пов'язаних із ними величин у важкодоступних місцях, у складних умовах експлуатації устаткування тощо.

До електричних вимірювачів тиску інколи відносять також конструкції з неелектричного чутливого елемента (переважно – деформаційного) і проміжного перетворювача, призначеного для перетворення деформації або спричиненого нею лінійного зміщення в електричний сигнал. Найчастіше для цього використовують індуктивні, ємнісні чи тензорезистивні перетворювачі, рідше – пневмоперетворювачі.

Опис установки

Лабораторна установка (рис. 2.4) призначена для вимірювання тиску та розрідження.

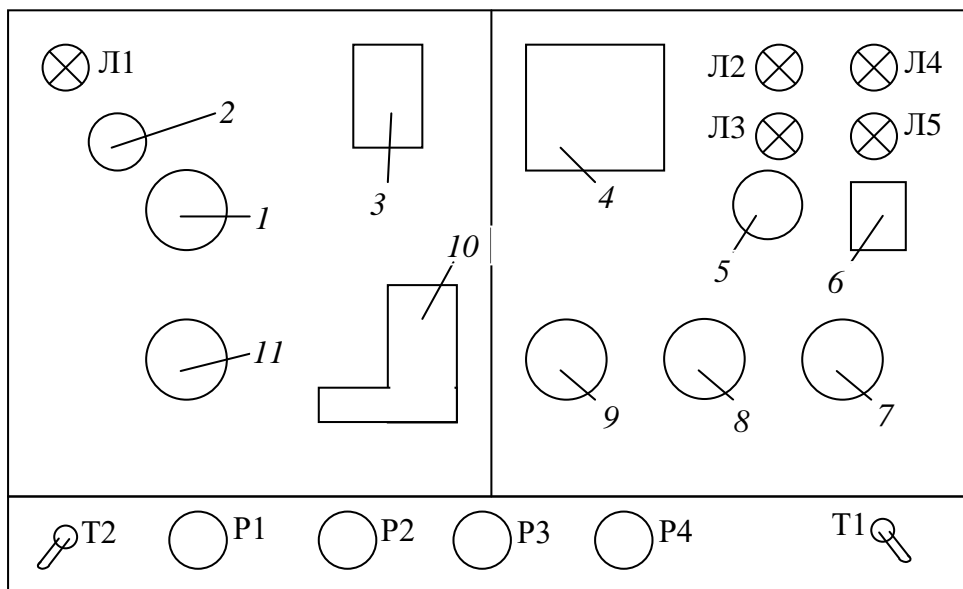


Рис. 2.4. Схема лабораторної установки:

- 1 – перевірюваний вакуумметр; 2 – манометр тиску живлення; 3 – вторинний показувальний прилад ПВ 1.1; 4, 5, 7 – перевірювані манометри; 6 – вторинний прилад ПВ 2.2; 8, 9 – вмірні манометри; 10 – вимірювальний перетворювач вакууму типу ВС-01; 11 – вмірний вакуумметр; Р1 – редуктор тиску живлення; Р2 – регулятор розрідження; Р3, Р4 – редуктори стисненого повітря; Т1 – тумблер електричного живлення; Т2 – тумблер вмикання вакуум-насоса

Вимірювання тиску. Установка складається з редукторів повітря Р3 та Р4, вмірних манометрів 8 та 9, перевірюваних приладів 4, 5 і 7, а також вторинних приладів ПВ 2.2 і ПВ 1.1 (3 і 6).

Для перевірки манометра 4 стиснене повітря через редуктор Р3 подається одночасно на вмірний 9 і перевірюваний 4 манометри. На манометрі 9 ре-

дуктором Р3 задають контрольні точки на позначках 4, 8, 12, 16, 20, 24 шкали і знімають показання з манометра 4.

Вимірювання здійснюють при прямому та зворотному ході, тобто збільшуючи надлишковий тиск від 0 до 0,6 кгс/см², а потім – знижуючи його від 0,6 до 0 кгс/см².

Далі перевіряють манометри 5 і 7 за показаннями взірцевого манометра 8 аналогічно перевірці манометра 4. Контрольні точки на манометрі 8 задають редуктором Р4. Манометр 7 відрізняється від попередніх тим, що має стандартний пневматичний вихід, підключений до вторинного приладу ПВ 2.2 з відсотковою шкалою 6. Якщо тиск на вході манометра 7 змінюється від 0 до 6 кгс/см², то його вихідний тиск змінюється від 0,2 до 1,0 кгс/см², а показання вторинного приладу – від 0 до 100 %. Дані вимірювань заносять до табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Номер досліджу	Показання приладів				Похибки			
	взірцевого манометра		перевірюваного манометра, кгс/см ²		абсолютна, кгс/см ²		відносна, %	
	Поділki шкали	кгс/см ²	Прямий хід	Зворотний хід	Прямий хід	Зворотний хід	Прямий хід	Зворотний хід

Вимірювання розрідження. Установка складається з вакуум-насоса, ручного регулятора розрідження Р2, взірцевого вакуумметра 11, технічного вакуумметра 1, вимірювального перетворювача вакууму типу ВС-01 10, вторинного показувального приладу типу ПВ 1.1 3. Контрольним приладом є вакуумметр 11, інші – перевірювані. Вихід вимірювального перетворювача 10 сполучено зі входом приладу 3.

Для виконання роботи необхідно, задаючи регулятором Р2 за взірцевим вакуумметром 11 потрібне розрідження, фіксувати значення цього розрідження за шкалами приладів 1 і 3. Отримані дані занести до табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Номер досліджу	Показання приладів				Похибки			
	взірцевого вакуумметра		перевірюваного вакуумметра, кгс/см ²		абсолютна, кгс/см ²		відносна, %	
	Поділki шкали	кгс/см ²	Прямий хід	Зворотний хід	Прямий хід	Зворотний хід	Прямий хід	Зворотний хід

Примітка. Похибки в табл. 2.2 розраховують для вакуумметра 1.

Послідовність виконання роботи

1. Ознайомитися з лабораторною установкою.
2. Підготувати установку до роботи: редуктором Р1 установити тиск живлення повітря $1,4 \text{ кгс/см}^2$ (контроль за манометром 2), тумблером Т1 подати на установку електроживлення.
3. Здійснити перевірку манометра 4 за манометром 9, а манометрів 5 і 7 – за манометром 8.
4. Підготувати установку до перевірки вакуумметрів: тумблером Т2 увімкнути вакуум-насос.
5. Здійснити перевірку вакуумметрів 1 та 10 за показаннями вірцевого вакуумметра 11.
6. Вимкнути установку: тумблери Т1 та Т2 перевести в положення «вимкнено», тиск живлення стисненим повітрям довести до нуля.
7. Розрахувати абсолютну та відносну похибки вимірювань.

Оформлення звіту

Звіт має містити схему та короткий опис установки, схеми вимірювань тиску, результати дослідів, графіки залежностей показань вторинних приладів ПВ 2.2 та ПВ 1.1 від тиску (розрідження). Визначити відповідність отриманих результатів класам точності перевірюваних засобів вимірювань.

Лабораторна робота 4

ВИЗНАЧЕННЯ СТАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МІЖСИСТЕМНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ СИГНАЛІВ

Мета роботи. Вивчити склад і принцип роботи електропневматичного та пневмоелектричного перетворювачів; зняти статичні характеристики перетворювачів.

Теоретичні відомості

Серед технічних засобів, застосовуваних для автоматизації виробничих процесів, значне місце займають перетворювачі сигналів. Ці пристрої призначені для створення сигналів вимірювальної інформації у формі, зручній для дистанційної передачі, подальшого перетворення та використання.

У нашій державі створення уніфікованих засобів автоматизації реалізується в Державній системі промислових приладів та засобів автоматизації (ДСП). Ця система побудована за блочно-модульним принципом і поділена на три гілки: прилади з пневматичними, електричними (постійного та змінного струму) і гідравлічними вхідним та вихідним сигналами. Відповідно до чинних стандартів встановлено такі діапазони вимірювання уніфікованих сигналів: пневматичних – $0,2 \dots 1$ кгс/см² ($0,02 \dots 0,1$ МПа); електричних постійного струму – $0 \dots 5$, $0 \dots 20$, $-5 \dots 0 \dots 5$, $4 \dots 20$ мА; електричних постійної напруги – $0 \dots 10$, $0 \dots 20$, $-10 \dots 0 \dots 10$ мВ та $0 \dots 10$, $0 \dots 1$, $-1 \dots 0 \dots 1$ В; електричних змінної напруги – $0 \dots 2$, $-1 \dots 0 \dots 1$ В; електричних частотних – $2 \dots 4$, $2 \dots 8$ кГц; гідравлічних – $1 \dots 64$ кгс/см² ($0,1 \dots 6,4$ МПа); сигналів індуктивності – $0 \dots 10$, $-10 \dots 0 \dots 10$ мГн.

Перетворювачі, використовувані в цій лабораторній роботі (електропневматичний МТМ-810 та пневмоелектричний МТМ-4000РІ), дозволяють здійснити перехід між першими двома гілками. Розглянемо будову та принцип роботи цих перетворювачів.

Електропневматичний перетворювач типу МТМ-810. Призначений для перетворення сигналу постійного струму $0 \dots 5$ мА у пропорційний уніфікований пневматичний сигнал $0,2 \dots 1$ кгс/см². Принципову схему перетворювача показано на рис. 3.1.

За усталеного режиму постійний струм, протікаючи котушкою 1, закріпленою на основному важелі 5, створює зусилля втягування котушки в зазор постійного магніту 2, яке зрівноважується на важільній системі за певного тиску в сильфоні зворотного зв'язку 8.

Зі зміною струму рівновага важільної системи порушується, і важелі 5 і 7, з'єднані гнучкою тягою 6, повертаються навколо шарнірів, змінюючи зазор між соплом 3 і закріпленою на основному важелі заслінкою 4. Це зумовлює

перепад тиску в міждросельній камері *A*, унаслідок чого порушується рівновага диференціальної мембрани *12*, і шток *10*, жорстко з'єднаний з мембраною, змінює ступінь відкриття клапана *9*. Унаслідок цього тиск у камері виходу *B* та в сильфоні зворотного зв'язку починає змінюватися. Рівновага важільної системи відновиться за визначеного співвідношення між вихідним тиском і вхідним струмом та нового співвідношення тисків у вихідній *B* і міждросельній *A* камерах, яке відповідатиме новим значенням перепадів тисків на постійних дроселях *11* і *13*.

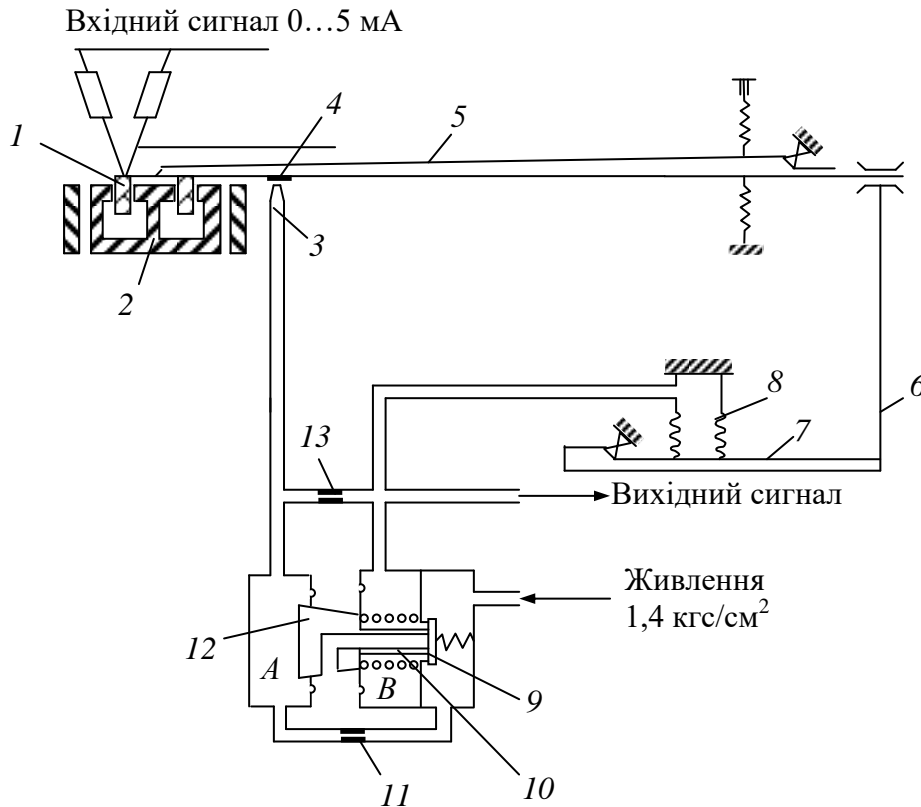


Рис. 3.1. Схема електропневматичного перетворювача типу МТМ-810

Пневмоелектричний перетворювач типу МТМ-4000РІ. Призначений для перетворення уніфікованого пневматичного сигналу ($0,2 \dots 1 \text{ кгс/см}^2$) в уніфікований електричний сигнал постійного струму ($0 \dots 5 \text{ мА}$). Схему перетворювача зображено на рис. 3.2.

Вимірювальним елементом перетворювача є манометрична трубчата одновиткова пружина *1*. Переміщення її кінця перетворюється в зусилля за допомогою спіральної пружини *2*, закріпленої на важелі *3*, що обертається навколо осі *4*. На важелі *3* закріплено також мідний диск *7*, що перебуває у високочастотному полі плоскої котушки *6*, яка входить у базовий контур генератора *9*. Генератор виконаний двоконтурним за схемою із загальним катодом. Під час переміщення коромисла, на якому закріплено диск *7*, змінюються параметри базового контуру. Це приводить до зміни режиму гене-

ратора, яка, у свою чергу, зумовлює зміну постійної складової катодного струму і струму сітки, а отже, і вихідного струму.

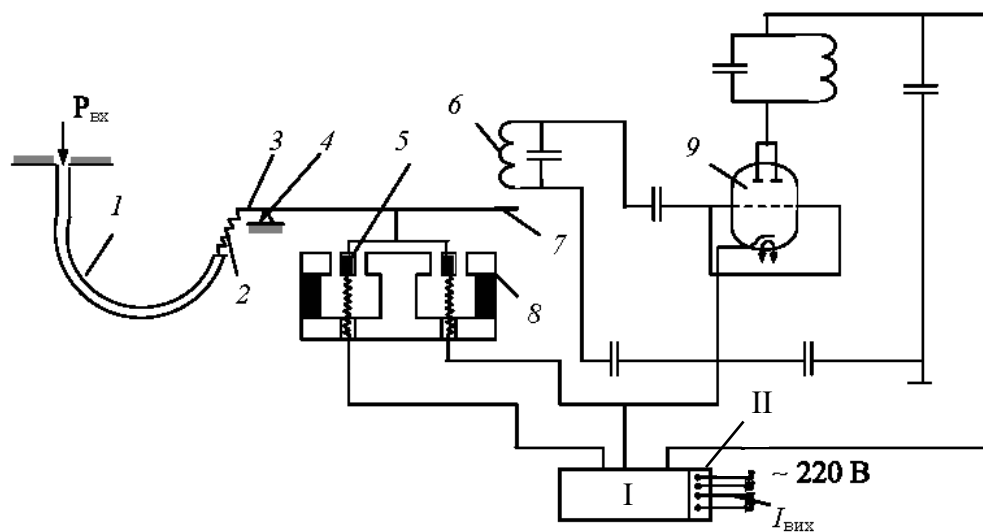


Рис. 3.2. Схема пневмоелектричного перетворювача типу МТМ-4000РІ

У ланцюг колектора увімкнено котушку зворотного зв'язку 5, закріплену на важелі 3 у полі постійного магніту 8. Вихідний струм, протікаючи котушкою 5, створює момент зворотного зв'язку, протилежний моменту, створюваному пружиною 2, унаслідок чого коромисло буде переміщатися до настання нового стану рівноваги.

У блоці I зібрано електричні елементи, що забезпечують живлення генератора та фільтрацію вихідного струму, а також стабілітрони для зсуву нуля. На сполучній колодці II крім затискачів для підключення живлення і навантаження, є клеми, призначені для перевірки справності перетворювача.

Схема лабораторної установки

Лабораторна установка (рис. 3.3) складається з ряду пристроїв, які по-спільно перетворюють ЕРС (в інтервалі температур $0...300\text{ }^{\circ}\text{C}$) в електричний ($0...5\text{ мА}$) і пневматичний ($0,2...1\text{ кгс/см}^2$) сигнали, а також пневматичний сигнал ($0,2...1\text{ кгс/см}^2$) у струмовий ($0...5\text{ мА}$). Наявність відповідних вимірювальних приладів дозволяє виміряти вхідні та вихідні сигнали.

Електрорушійна сила, яку потрібно перетворити, задається блоком регульованої напруги (БРН) 7 і подається на вхід нормувального перетворювача 6 та на мілівольтметр 1.

Нормувальний перетворювач 6 являє собою підсилювач із глибоким від'ємним зворотним зв'язком і призначений для перетворення ЕРС в уніфікований струмовий сигнал ($0...5\text{ мА}$). Вихідний сигнал перетворювача 6, контрольований міліамперметром 4, подається на вхід перетворювача МТМ-810,

де перетворюється в аналоговий пневматичний сигнал ($0,2 \dots 1 \text{ кгс/см}^2$). Вихідний сигнал МТМ-810, контрольований вимірювальними приладами 2 і 3, надходить на вхід пневмоелектричного перетворювача МТМ-4000РІ, вихід якого контролюється міліамперметром 5.

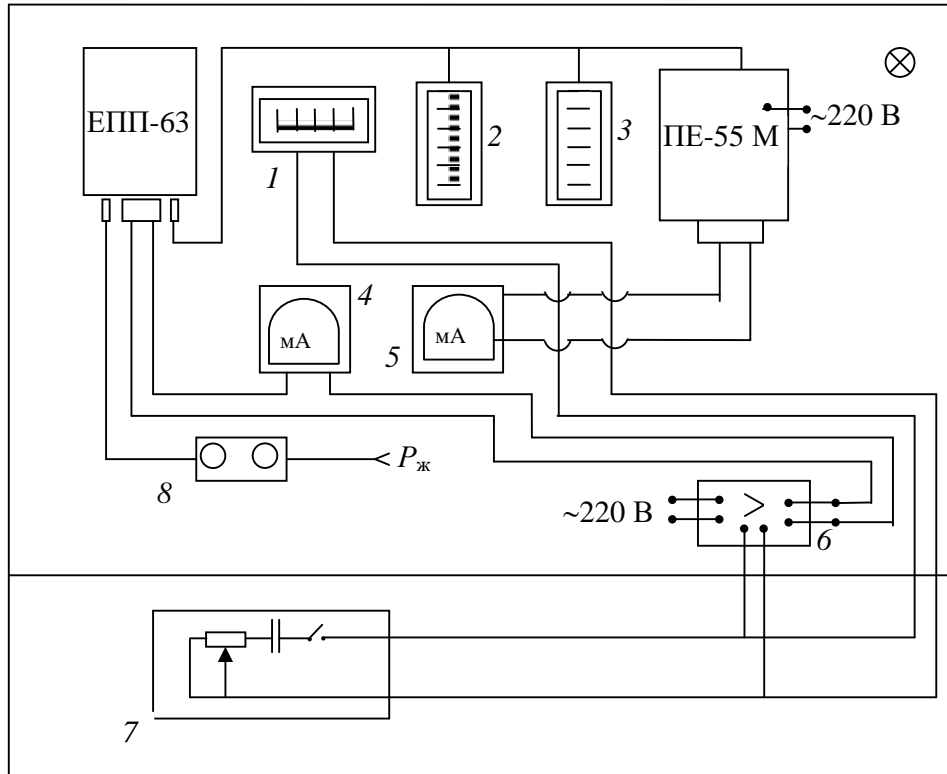


Рис. 3.3. Схема установки

Живлення приладів МТМ-810, МТМ-4000РІ, 2 і 3 стисненим повітрям подається від панелі дистанційного керування 8. Тиск повітря живлення контролюють за манометром і змінюють редуктором, установленими на панелі дистанційного керування.

Послідовність виконання роботи

1. Подати напругу на експериментальний стенд.
2. Подати тиск живлення на стенд і редуктором 8 установити його значення ($1,2 \dots 1,4 \text{ кгс/см}^2$).
3. Зняти статичні характеристики приладів МТМ-810 і МТМ-4000РІ в діапазоні температур $0 \dots 300 \text{ }^\circ\text{C}$. Для цього необхідно за допомогою БРН подавати на вхід МТМ-810 напругу, змінюючи показання мілівольтметра 1 в інтервалі температур $0 \dots 300 \text{ }^\circ\text{C}$.
4. Результати експерименту занести до табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Показання мілівольметра, °С	Термо-ЕРС, що відповідає температурним точкам, мВ	$I_{\text{вх}}$, показання міліампер- метра 4, мА	$P_{\text{вих}}$, показання приладу 2, кгс/см ²	$P_{\text{вх}}$, показання приладу 3, кгс/см ²	$I_{\text{вих}}$, показання приладу 5, мА	Примітки
50						
100						
150						
200						
250						
300						

5. За результатами експерименту побудувати статичні характеристики перетворювачів $P_{\text{вих}} = \varphi(I_{\text{вх}})$ та $I_{\text{вих}} = \psi(P_{\text{вх}})$.

Оформлення звіту

Звіт має містити короткі відомості про роботу перетворювачів, їхні схеми, схему лабораторної установки, таблицю результатів вимірювань, графіки статичних характеристик перетворювачів МТМ-810 і МТМ-4000РІ.

Лабораторна робота 5 ПЕРЕВІРЯННЯ ПОТЕНЦІОМЕТРІВ І МІЛІВОЛЬТМЕТРІВ

Мета роботи. Вивчити принцип дії і будову мілівольтметрів та потенціометрів з автоматичним і ручним зрівноважуванням; визначити динамічні характеристики приладів; виконати перевірку потенціометрів і мілівольтметрів.

Теоретичні відомості

Вимірювання ЕРС потенціометром. В основу роботи потенціометра покладено компенсаційний метод вимірювання ЕРС, який полягає в тому, що вимірювана ЕРС (зокрема, термо-ЕРС термопари) зрівноважується відомим спадом напруги, утвореним допоміжним джерелом струму на каліброваному реохорді. Компенсувальна напруга у момент вимірювання має дорівнювати термо-ЕРС і бути спрямованою їй назустріч. Розглянемо найпростішу схему вимірювання термо-ЕРС (рис. 4.1). Електричне коло складається з джерела ЕРС і регулювального опору (реохорда) R_p . Термопару підключають так, щоб її ЕРС була спрямована назустріч спадові напруги, створеному джерелом живлення на R_p .

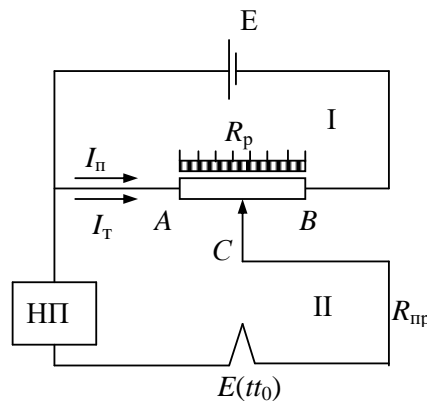


Рис. 4.1. Компенсаційна схема вимірювання термо-ЕРС

Якщо $I_{\text{п}}$ – струм джерела живлення потенціометра, а $I_{\text{т}}$ – струм термопари, то на робочій ділянці (AC) реохорда

$$I_{AC} = I_{\text{п}} + I_{\text{т}}.$$

На підставі другого закону Кірхгофа у контурі II

$$E(t) = I_{\text{т}}(R_{\text{т}} + R_{\text{пр}} + R_{\text{НП}} + R_{AC}) + I_{\text{п}}R_{AC},$$

де $R_{\text{т}}$, $R_{\text{пр}}$, $R_{\text{НП}}$, R_{AC} – опори відповідно термопари, з'єднувальних провідників, нуль-приладу і робочої ділянки реохорда.

Позначивши $R_{\text{т}} + R_{\text{пр}} = R_{\text{зв}}$, отримаємо

$$E(t) = I_{\text{т}}(R_{\text{зв}} + R_{\text{НП}} + R_{AC}) + I_{\text{п}}R_{AC},$$

звідки

$$I_T = (E(t) - I_{\text{п}}R_{AC}) / (R_{\text{зв}} + R_{\text{НП}} + R_{AC}).$$

Положення ковзного контакту реохорда потрібно змінювати так, щоб $I_T = 0$. Цього можна досягти за умови, що $E(t) - I_{\text{п}}R_{AC} = 0$. Тоді

$$E(t) = I_{\text{п}}R_{AC}, \quad (4.1)$$

тобто вимірювана термо-ЕРС дорівнює спадові напруги на ділянці AC реохорда.

Якщо струм підтримувати постійним, то, як випливає з (4.1), значення напруги, яке знімають з реохорда, залежатиме тільки від опору робочої ділянки реохорда R_{AC} . Отже, з'являється дуже важлива вимога до сталості значення струму джерела живлення, контролювати яку потрібно регулярно. Цього можна досягти, доповнивши схему контрольним ланцюгом нормального елемента, ЕРС якого за короткочасного навантаження залишається постійною, що дозволяє застосовувати його для контролю робочого струму потенціометра (рис. 4.2).

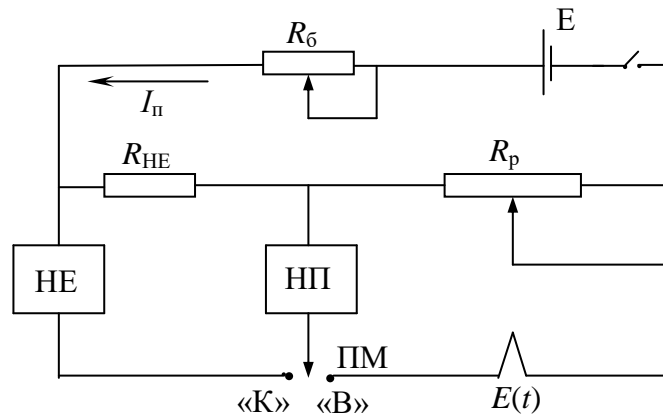


Рис. 4.2. Принципова схема лабораторного потенціометра

Робочий струм встановлюють так. Замикають перемикач ПМ в положення контролю «К», і в колі потенціометра виникає струм $I_{\text{п}}$. Якщо його значення дорівнює розрахунковому, то спад напруги на опорі R_{HE} буде дорівнювати ЕРС нормального елемента HE

$$I_{\text{п}} = U_{\text{HE}} / R_{\text{HE}}. \quad (4.2)$$

Якщо рівність (4.2) не дотримується, то її досягають переміщенням повзунка на $R_{\text{б}}$ доти, доки стрілка нуль-приладу НП не стане на нуль. Після цього перемикач ПМ переводять у положення вимірювання «В».

В автоматичних потенціометрах для вимірювання термо-ЕРС застосовують мостову схему (рис. 4.3), що складається з чотирьох пліч, $R_{\text{н}}$, $R_{\text{м}}$, $R_{\text{к}}$, $R_{\text{в}}$. У вершину c моста включено калібрований реохорд $R_{\text{р}}$. Вимірювана напруга $E(tt_0)$ зрівноважується різницею потенціалів у точках c і d , яку можна змінювати, переміщуючи ковзний контакт на реохорді.

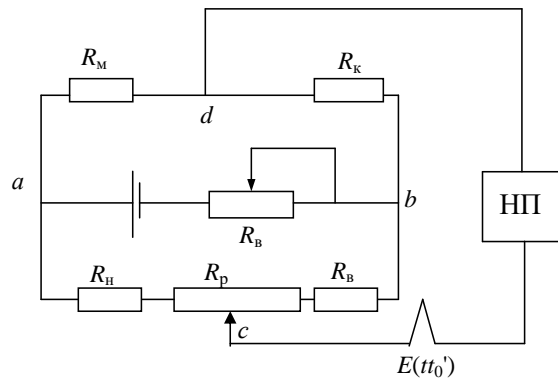


Рис. 4.3. Мостова схема вимірювання термо-ЕРС

Застосування мостової вимірювальної схеми в автоматичних потенціометрах забезпечує можливість автоматичного введення поправки на відхилення температури холодного спаю термопар від температури градування. Дотепер не було акцентовано увагу на тому, яка саме термо-ЕРС надходить з термопар на вимірювальний прилад, тому її було позначено умовно $E(t)$. Однак насправді потенціал, генерований термопарою, далеко не завжди відповідає дійсному значенню вимірюваної температури. Уже із самого рівняння термопар

$$E(tt_0) = e(t) - e(t_0), \quad (4.3)$$

де $E(tt_0)$ – сумарна термо-ЕРС термопар; t і t_0 – відповідно температури робочого кінця (спаю) та вільних кінців термопар; $e(t)$ і $e(t_0)$ – відповідно контактні ЕРС відповідних кінців термопар, видно, що ЕРС термопар залежить від різниці температур t і t_0 . Тому визначити вимірювану температуру t за допомогою рівняння (4.3) можна тільки за умови підтримання значення температури t_0 рівним температурі вільних кінців при градуванні (градувальні таблиці термопар розраховані для $t_0 = 0$ °С) (див. дод. 1). Якщо під час вимірювання $t_0 = 0$ °С, то термопара згенерує термо-ЕРС $E(tt_0)$ (рис. 4.4).

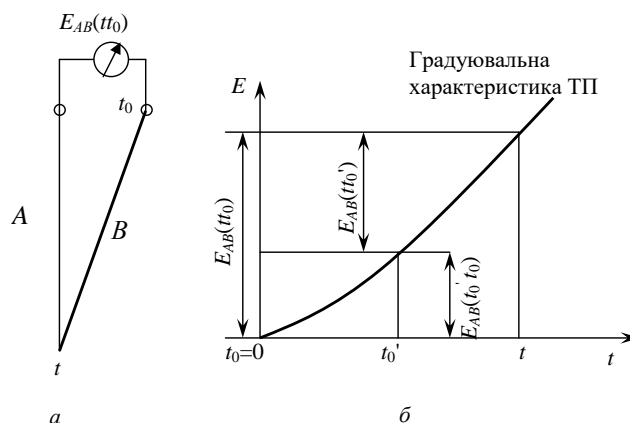


Рис. 4.4. Схеми термопар (а) та внесення поправки у значення термо-ЕРС (б)

Але в реальних умовах температура вільних кінців термопар, як правило, є іншою (t_0'), а тому термопара генерує не повну термо-ЕРС, яка б відпо-

відала дійсному значенню вимірюваної температури $t - E_{AB}(tt_0)$, а зменшену на величину відхилення реальної температури вільних кінців (t_0') від температури градування $t_0 - E_{AB}(tt_0')$. Для отримання повної термо-ЕРС до генерованого термопарою значення $E_{AB}(tt_0')$ слід додати (якщо $t_0' < t_0$, то відняти) поправку на згадане відхилення температури вільних кінців – $E_{AB}(t_0't_0)$.

В автоматичних потенціометрах це здійснюється так. Вимірювана термо-ЕРС компенсується потенціалом розбалансу моста $U_K = U_{cd}$, тобто

$$E(tt_0') = U_{cd} = I_2(R_H + R_p) - I_1R_M. \quad (4.4)$$

Якщо температура холодного спаю зміниться на величину $\Delta t_0 = t_0' - t_0$ (наприклад, збільшиться), то ЕРС термопарі зменшиться на величину $\Delta e = E_{AB}(t_0', t_0)$. При цьому збільшиться і спад напруги на резисторі R_M , оскільки резистор зроблений з міді або нікелю, і його опір змінюється пропорційно зміні температури t_0' . Тому рівняння компенсації (4.4) набуде вигляду:

$$E_0(tt_0') = I_2(R_H + R_p) - I_1(R_M + \Delta R_M).$$

Щоб вихідний сигнал термопарі не змінився, необхідно забезпечити рівність

$$I_1\Delta R_M = E_{AB}(t_0't_0).$$

Якщо це так, то сума $E_{AB}(tt_0') + E_{AB}(t_0't_0)$ дорівнюватиме ЕРС термопарі з поправкою на дійсну температуру t_0' її вільних кінців, тобто $E_{AB}(tt_0)$. Рівняння компенсації остаточно набуде вигляду

$$E_{AB}(tt_0) = I_2(R_H + R_p) - I_1R_M.$$

В електронних автоматичних потенціометрах повзунок реохорда переставляє реверсивний двигун, а роль нуль-приладу виконує електронний підсилювач. Розглянемо електричну схему і принцип роботи автоматичного електронного потенціометра (рис. 4.5).

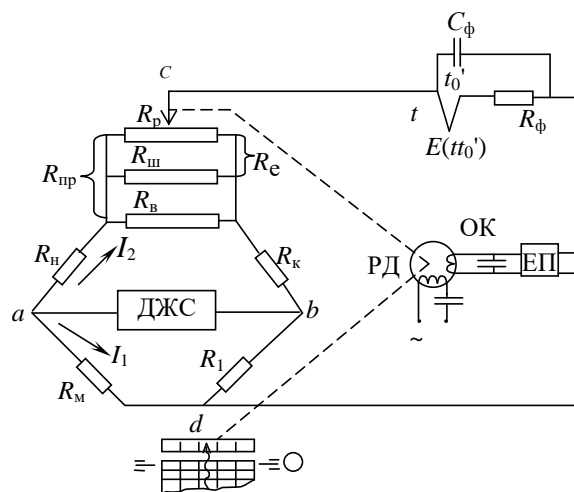


Рис. 4.5. Принципова схема автоматичного потенціометра КСП

Такий потенціометр – це стаціонарний прилад, який одночасно показує і записує вимірювання на дискову або стрічкову діаграму. Усі опори вимірювальної схеми, крім R_m , зроблено з манганіну.

Якщо ЕРС термопари $E(tt_0)$ не дорівнює напрузі U_{cd} , то напруга розбалансу $E(tt_0) - U_{cd}$ подається на вхід електронного підсилювача ЕП, де перетворюється в сигнал змінного струму і підсилюється.

Електронний підсилювач через обмотку керування ОК керує роботою реверсивного двигуна РД, який, обертаючись в один або другий бік (залежно від знака розбалансу), зміщує повзунок реохорда, відновлюючи рівновагу схеми. Реверсивний двигун одночасно переміщує стрілку відлікового пристрою та перо самописа.

У сучасних автоматичних потенціометрах немає механізму контролю й встановлення робочого струму, оскільки для їх живлення використовують стабілізоване джерело ДЖС.

Вимірювальну схему потенціометра виконано у вигляді незрівноваженого моста з плаваючою вершиною; реохорд розміщено у двох суміжних плечах моста. Завдяки такій конструкції підвищується чутливість мостової схеми. У вершині моста знаходиться реохорд R_p із двома шунтами R_b і $R_{ш}$. Опір $R_{ш}$ дає змогу довести еквівалентний опір реохорда R_e разом із шунтом до стандартного значення (90 Ом), а шунт R_b дозволяє змінити діапазон вимірювань. Початок шкали виставляють, змінюючи опір R_n .

Опір R_ϕ і ємність C_ϕ утворюють фільтр для усунення наведень від сторонніх електричних полів.

Автоматичні електронні потенціометри, крім вимірювання температури, використовують також для автоматичного регулювання температури. Для цього їх додатково оснащують регулювальними пристроями – електричними (зазвичай позиційними) або пневматичними.

Вітчизняні автоматичні потенціометри, призначені для технологічних вимірювань, належать до ДСП і їх позначають як КСП-1, КСП-2, КСП-3, КСП-4. Потенціометри різних груп відрізняються конструкцією, габаритами і видом діаграмного паперу. При цьому кожен групу приладів КСП становлять потенціометри різних модифікацій, які різняться також функціональними ознаками: часом проходження шкали покажчиком (від 1 до 10 с), кількістю точок вимірювань (1, 3, 6, 12), видом допоміжного пристрою. Як допоміжні пристрої, що розширюють функціональні можливості приладів, використовують дво- чи трипозиційні регулювальні (сигналізуючі) пристрої, перетворювачі (реостатні, диференціально-трансформаторні, феродинамічні, струминні, пневматичні), лінійні пневматичні регулятори.

Вимірювання термо-ЕРС магнітоелектричними мілівольтметрами. Мілівольтметри застосовують для вимірювання термо-ЕРС. Їхню шкалу градуюють у градусах і мілівольтах або тільки в градусах.

Мілівольтметри є приладами магнітоелектричної системи, робота яких базується на взаємодії провідника зі струмом і поля постійного магніту. Поле створює сильний постійний магніт (рис. 4.6), а провідником слугує рамка, що складається зі значної кількості витків тонкого ізольованого мідного або алюмінієвого дроту.

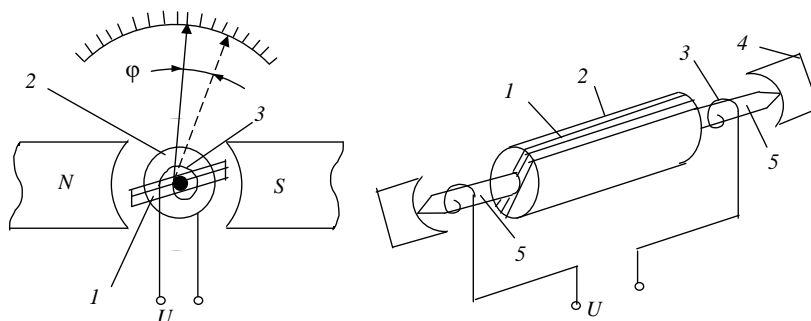


Рис. 4. 6. Принципова схема мілівольтметра: 1 – рамка; 2 – циліндричне осердя з м’якої сталі; 3 – спіральні пружини; 4 – підп’ятники; 5 – керни

Жорстко скріплена зі стрілкою рамка складає рухому систему приладу. Найчастіше рамку закріплено на кернах, які спираються на підп’ятники з агату або рубіна. У реєструвальних приладах рамку зазвичай підвішено на тонких металевих стрічках.

Струм підводиться через спіральні пружини або безпосередньо через підвішувальні металеві стрічки. Обертальний магнітоелектричний момент, який виникає під час проходження струму через рамку, визначають як

$$M_{\text{ме}} = 2rlnBI,$$

де $2r$ – радіальна ширина рамки, см; l – активна довжина рамки, см; n – кількість витків; B – магнітна індукція, Тл; I – струм, А.

Під дією моменту $M_{\text{ме}}$ (напрямок дії визначають за правилом лівої руки) рамка повертається, закручуючи спіральні пружини, які створюють момент протидії $M_{\text{п}}$, пропорційний кутові повороту рамки φ та модулю пружності матеріалу пружини:

$$M_{\text{п}} = w\varphi,$$

де w – питомий протидійний момент пружин, Н·м/град.

У момент рівноваги рухомої системи мілівольтметра $M_{\text{ме}} = M_{\text{п}}$. А отже,

$$2rlnBI = w\varphi.$$

Звідси

$$\varphi = S_I I, \tag{4.5}$$

де $S_I = 2rlnB/w$ – чутливість мілівольтметра до струму, град/А.

Враховуючи залежність струму I , що протікає через рамку, від напруги U і внутрішнього опору мілівольтметра $R_{\text{мв}}$ ($I = U/R_{\text{мв}}$), з виразу (4.5) отримаємо залежність кута повороту рамки φ від вимірюваної напруги:

$$\varphi = S_I U/R_{\text{мв}} = S_U U, \tag{4.6}$$

де $S_U = S_I/R_{MB} = \phi/U$ – чутливість приладу до напруги, град/В.

Термо-ЕРС вимірюють мілівольтметром за схемою, наведеною на рис. 4.7.

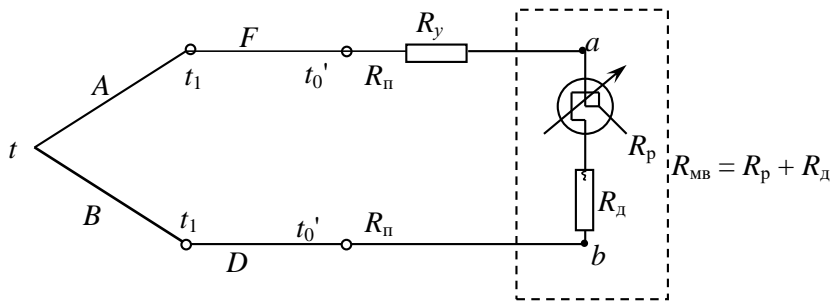


Рис. 4.7. Схема вимірювання термо-ЕРС мілівольтметром

Генерована ТП термо-ЕРС $E_{AB}(tt_0')$ створює у замкненому вимірювально-ланцюгові струм

$$I = E_{AB}(tt_0') / (R_{AB} + R_{FD} + R_{\Pi} + R_y + R_p + R_d) = E_{AB}(tt_0') / (R_{\text{зовн}} + R_{\text{MB}}), \quad (4.7)$$

де R_{AB} , R_{FD} , R_{Π} , R_y , R_p , R_d – опори відповідно термоелектродів A і B , подовжувальних провідників F і D , з'єднувальних проводів R_{Π} , підгінного резистора (котушки) R_y , рамки R_p та додаткової котушки R_d мілівольтметра; $R_{\text{зовн}} = R_{AB} + R_{FD} + R_{\Pi} + R_y$ – зовнішній відносно входних клем ab приладу опір ланцюга; $R_{\text{MB}} = R_p + R_d$ – внутрішній опір мілівольтметра.

З урахуванням (4.7) вираз для визначення підведеної до клем ab мілівольтметра вимірюваної напруги U матиме вигляд

$$U = IR_{\text{MB}} = E_{AB}(tt_0') / (R_{\text{зовн}} + R_{\text{MB}}) R_{\text{MB}}.$$

Після почленного ділення чисельника і знаменника в останньому виразі на R_{MB} остаточно отримаємо

$$U = E_{AB}(tt_0') / (1 + R_{\text{зовн}} / R_{\text{MB}}). \quad (4.8)$$

Із (4.8) видно, що вплив коливань температури зовнішнього середовища буде тим меншим, чим меншим буде відношення $R_{\text{зовн}} / R_{\text{MB}}$. Зменшити $R_{\text{зовн}} / R_{\text{MB}}$ можна лише за рахунок збільшення R_{MB} . А позаяк мідна рамка мілівольтметра має відносно малий опір, то R_{MB} збільшують за рахунок послідовно з'єданого з рамкою додаткового опору R_d , виготовленого у вигляді манганінової котушки.

Проте, як видно з (4.6), збільшення R_{MB} призводить до зменшення чутливості S_U мілівольтметра. Тому зазвичай $R_{\text{MB}} = 100 \dots 500$ Ом, а відношення $R_p / R_{\text{MB}} \leq 1/3$, що дозволяє значно зменшити температурний коефіцієнт приладу. Значення $R_{\text{зовн}}$ стандартизовано в межах $0,6 \dots 25$ Ом і вказано на шкалі мілівольтметра. До вказаного значення $R_{\text{зовн}}$ підганяють за допомогою котушки R_y .

Для забезпечення автоматичної компенсації відхилень температури вільних кінців ТП від температури градування під час вимірювання термо-ЕРС мілівольтметром використовують подовжувальні та компенсувальні проводи

(дод. 3), а також компенсувальні (незрівноважені) мости з мідним або нікелевим резистором в одному плечі (автокомпенсатори).

Схема лабораторної установки

Лабораторну установку для перевірки потенціометрів і мілівольтметрів змонтовано на стенді (рис. 4.7). Вона містить: автоматичний потенціометр типу КСП-4 1, автоматичний потенціометр типу КСП-3 3, взірцевий потенціометр типу ПП-63, блок регульованої напруги БРН, перемикач ПМ на три положення, мілівольтметр типу М-64 2, вимикач живлення із сигнальною лампою.

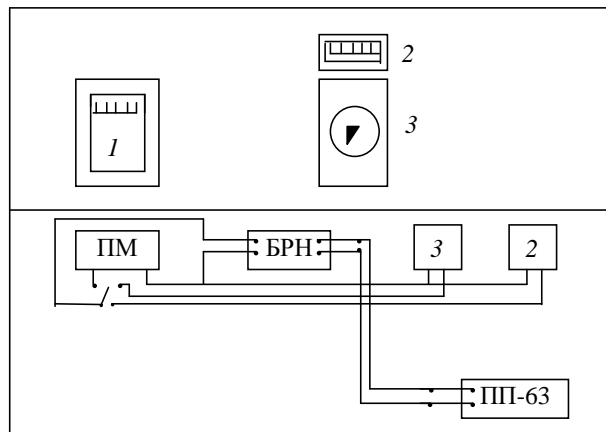


Рис. 4.7. Схема лабораторної установки

Вимірювальні прилади КСП-3, КСП-4 і М-64 по черзі підключають до БРН та до взірцевого потенціометра перемикачем ПМ.

Послідовність виконання роботи

Перевірка вимірювальних приладів передбачає здійснення таких дослідів:

- випробування схеми і визначення положення показників приладів за початковою та кінцевою позначками шкали і лініями діаграмного паперу;
- визначення часу встановлення показань і перевірка заспокоєння приладу;
- визначення похибок приладу.

Визначення положення показників приладів за початковою та кінцевою позначками шкали і лініями діаграмного паперу. Ознайомившись з конструкцією випробовуваного приладу, на нього подають живлення і прогрівають протягом 5 хв. Перемикачем ПМ прилад підключають до БРН і подають на його вхід сигнали, необхідні для встановлення показчика на нульову чи кінцеву позначку шкали та відповідну лінію діаграмного паперу.

Номінальні значення вхідних сигналів беруть із градуювальних таблиць (див. дод. 1), а дійсні – за показаннями контрольного потенціометра, підк-

люченого до клем БРН. За результатами перевірки роблять висновок про правильність положення шкали, показчика та діаграмного паперу.

Визначення похибки приладу. Похибку приладу визначають, порівнюючи його показання з показаннями взірцевого потенціометра ПП-63. Для цього перевірюваний прилад приєднують перемикачем до БРН. До решти клем БРН підключають потенціометр ПП-63.

Користуючись градуовальною таблицею (див. дод. 1), відповідно до градування, вказаного на шкалі приладу, у табл. 4.2 записують значення термо-ЕРС $E(tt_0)$, яке відповідає перевірюваній позначці. Потім, плавно змінюючи напругу БРН, підводять показчик приладу на перевірювану позначку шкали (перевіряють усі числові позначки, починаючи з початкової).

Подану від БРН напругу вимірюють контрольним потенціометром. Одержане значення напруги, що дорівнює $E(tt_0')$, і значення термо-ЕРС поправки Δe , що відповідає дійсній температурі вільних кінців термопари t_0' , записують у табл. 4.2.

Аналогічно здійснюють вимірювання в усіх оцифрованих точках шкали перевірюваного приладу.

Перевіривши останню позначку, визначають похибки показань приладу і будують графік похибок. Потім реостатом БРН плавно зменшують напругу, вимірюючи ЕРС на кожній перевірюваній позначці аж до початкової позначки. Після цього аналогічні вимірювання виконують також для зворотного ходу відлікового пристрою.

Результати вимірювань і розрахунків заносять у табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Показання перевірюваного приладу, °С	Термо-ЕРС термопари для температури вільних кінців $t_0 = 0$ °С (за таблицею), мВ	Поправка Δe на відхилення температури вільних кінців від $t_0 = 0$ °С, мВ	Показання взірцевого потенціометра				Відносна похибка вимірювань, %		Зведена варіація показань, %	
			Прямий хід, мВ		Зворотний хід, мВ		переведені в температуру, °С			
			Термо-ЕРС $E(tt_0')$ для $t_0 = t_0'$	Термо-ЕРС $E(tt_0)$ для $t_0 = 0$ °С	Термо-ЕРС $E(tt_0')$ для $t_0 = t_0'$	Термо-ЕРС $E(tt_0)$ для $t_0 = 0$ °С	Прямий хід $T_{дп}$	Зворотний хід $T_{дз}$		Прямий хід

За результатами розрахунків будують графіки похибок (отриманих і допустимих), відкладаючи показання приладу вздовж осі абсцис, а значення похибок – уздовж осі ординат. Отримані точки з'єднують відрізками прямих ліній.

Оформлення звіту

У звіт про виконану роботу слід включити компенсаційну схему вимірювання термо-ЕРС, схему автоматичного потенціометра, протокол випробувань і графіки перехідних процесів та похибок, а також висновки щодо можливості подальшого використання перевірених приладів.

Лабораторна робота 6

ПЕРЕВІРЯННЯ АВТОМАТИЧНИХ МОСТІВ І ЛОГОМЕТРІВ

Мета роботи. Вивчити принцип дії та будову автоматичних мостів і логометрів, перевірити відповідність їх реальних характеристик номінальним.

Теоретичні відомості

Вимірювання опору мостовим методом. Принцип роботи електронних автоматичних мостів постійного і змінного струму базується на вимірюванні опору методом зрівноваженого моста.

Мости широко застосовують для вимірювання, запису та регулювання температури разом з термоперетворювачами опору (ТО) стандартних градувань (дод. 2). Принципову схему зрівноваженого моста з підключеним ТО показано на рис. 5.1.

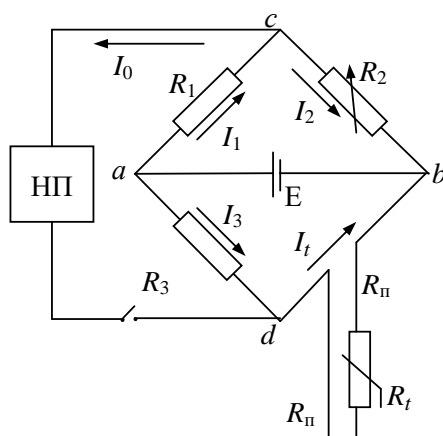


Рис. 5.1. Принципова схема зрівноваженого моста

Міст складається з двох постійних опорів R_1 і R_3 , змінного опору R_2 та опору термометра R_t . До опору термометра приєднується опір двох з'єднувальних проводів $2R_{\Pi}$. Одна діагональ моста ab містить джерело живлення E , інша cd – вимірювальна – нуль-прилад (НП).

За рівноваги моста, якої досягають, переміщуючи повзунок реохорда R_2 , струм у вимірювальній діагоналі моста $I_0 = 0$, оскільки потенціали в точках c і d однакові. При цьому справедливі такі рівності:

$$R_1 I_1 = R_3 I_3; \tag{5.1}$$

$$R_2 I_2 = (R_t + 2R_{\Pi}) I_t. \tag{5.2}$$

Поділивши (5.1) на (5.2), одержуємо

$$R_1 I_1 / R_2 I_2 = R_3 I_3 / [(R_t + 2R_{\Pi}) I_t].$$

Якщо $I_0 = 0$; $I_1 = I_2$; $I_3 = I_t$, то отримуємо умову рівноваги моста:

$$R_1(R_t + 2R_{\Pi}) = R_2R_3,$$

тобто міст буде зрівноважений, якщо буде дотримано рівність добутків опорів протилежних пліч.

З умови рівноваги визначимо шукане:

$$R_t = R_2R_3/R_1 - 2R_{\Pi}. \quad (5.3)$$

Із рівняння (5.3) видно, що опір R_t у стані рівноваги можна визначити, якщо відомо опори R_1 , R_2 , R_3 і R_{Π} .

Резистори R_1 , R_2 , R_3 виготовлено з манганіну, тому їх опори не змінюються зі зміною температури. Отже, точність вимірювання залежить від сталості опору з'єднувальних проводів $2R_{\Pi}$, можливої тільки за умови незмінності їхньої температури.

У випадку, коли коливання температури зовнішнього середовища значні і похибка вимірювання може перевищувати припустиму величину, застосовують трипровідну схему підключення термоопору R_t , коли одну з вершин діагоналі живлення моста переносять безпосередньо до R_t (рис. 5.2).

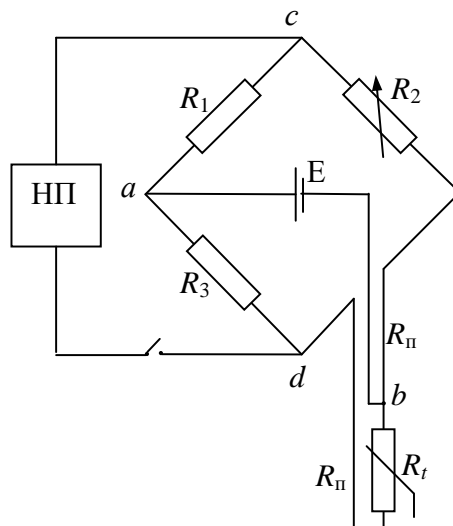


Рис. 5.2. Трипровідна схема підключення термометра опору до моста

У результаті опір одного проводу R_{Π} додаватиметься до опору R_1 , а іншого – до опору R_2 . Тоді рівняння рівноваги моста матиме вигляд

$$R_1(R_t + R_{\Pi}) = R_3(R_2 + R_{\Pi}).$$

Якщо міст симетричний, тобто якщо $R_1 = R_3$, отримуємо $R_t = R_2$. А отже, змінний опір з'єднувальних провідників $2R_{\Pi}$ не впливатиме на показання моста.

Якщо реохорд встановлено у вершині моста (як в автоматичних мостах), то міст у загальному випадку буде асиметричним, оскільки $R_3 \neq R_1$. Однак

відношення R_3/R_1 буде близьким до одиниці, тому похибка, спричинена змінною опором названих провідників, буде незначною.

В автоматичних мостах повзунок реохорда переміщується автоматично. Принципово вимірювальна схема автоматичного зрівноваженого моста (рис. 5.3) не відрізняється від вимірювальної схеми лабораторного зрівноваженого моста.

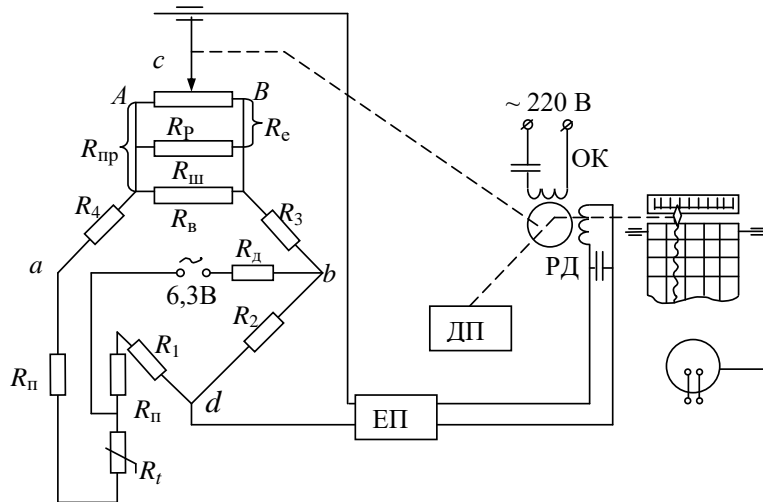


Рис. 5.3. Принципова схема електронного автоматичного моста КСМ

Термометр опору підключають за трипровідною схемою. Розбаланс мостової схеми сприймається електронним підсилювачем ЕП. Фаза сигналу, який надходить на підсилювач, залежить від напрямку порушення рівноваги моста (тобто від збільшення або зменшення опором термометра R_T). Зі зміною знака порушення рівноваги фаза вихідного сигналу ЕП зміниться на 180° , і реверсивний двигун РД обертатиметься в той чи інший бік, пересуваючи повзунок реохорда R_P і зв'язані з ним стрілку та перо приладу. Діаграмний папір протягається синхронним двигуном. Якщо електронні мости використовують для регулювання та сигналізації, то їх оснащують такими ж допоміжними пристроями ДП, як і автоматичні потенціометри.

Приладобудівна промисловість виготовляє електронні автоматичні мости типів КСМ-1, КСМ-2, КСМ-3, КСМ-4. Модифікації відрізняються виконанням і функціональними ознаками, що обумовлено наявністю ДП – аналогічних тим, якими оснащують потенціометри.

Вимірювання опором логометром. Для вимірювання електричного опором, у тому числі опором терморезистивних перетворювачів, застосовують логометри – магнітоелектричні прилади, рухома система яких складається з двох рамок r_1 і r_2 , розміщених під кутом одна до другої та жорстко скріплені між собою (рис. 5.4). Кут повороту такої системи залежить від співвідношення струмів у обох рамках:

$$\varphi = f(I_1/I_2).$$

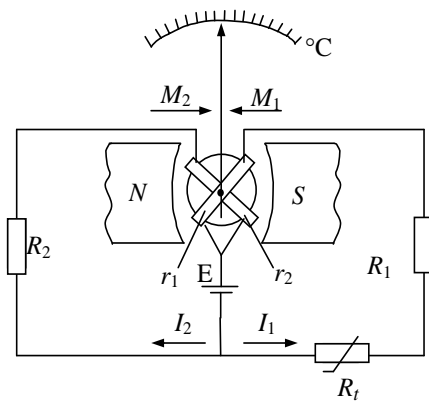


Рис. 5.4. Принципова схема логометра

Від джерела постійного струму E в рамки r_1 і r_2 логометра надходять струми протилежного спрямування I_1 та I_2 , тому моменти M_1 і M_2 , що виникають у рамках, також будуть спрямовані назустріч один одному. Значення кожного з моментів можна виразити залежностями:

$$M_1 = CI_1B_1;$$

$$M_2 = CI_2B_2,$$

де C – постійний коефіцієнт, який залежить від будови рамки ($C = 2rln$, де r , l і n – відповідно радіус, довжина та кількість витків рамки); B_1 , B_2 – магнітні індукції, що пронизують r_1 і r_2 .

Логометр відрізняється від мілівольтметра тим, що не має протидіючих обертанням рамок пружин, а зрівноважування моменту, який діє в одній рамці, відбувається за рахунок моменту другої рамки. Струмопідводи рамок виготовляють безмоментними, наприклад, з тонкої золотої стрічки, або маломентними – з тонкого бронзового дроту.

Розглянемо роботу логометра. Якщо, наприклад, зміна опору R_t викличе збільшення струму I_1 , то це призведе до збільшення моменту M_1 , який почне обертати рухому систему проти годинникової стрілки. При цьому активні сторони рамки r_1 зміщуватимуться від центру зазору до країв, тобто в бік зменшення магнітної індукції B_1 , а активні сторони рамки r_2 , навпаки, – у бік збільшення магнітної індукції B_2 . У результаті момент M_1 буде зменшуватися, а M_2 – зростати.

При певному куті повороту рухомої системи φ настане рівновага:

$$M_1 = M_2 \text{ або } CI_1B_1 = CI_2B_2,$$

звідки

$$I_2/I_1 = B_1/B_2 = \psi(\varphi)$$

або

$$\varphi = f(I_1/I_2).$$

Виразивши кожен зі струмів через напругу джерела живлення E та відповідні опори, отримаємо

$$\varphi = f(I_1/I_2) = f[(E/(r_2+R_2))/(E/(R_t+r_1+R_1))] = f[(R_t+r_1+R_1)/(r_2+R_2)]. \quad (5.4)$$

Оскільки в рівнянні (5.4) величини r_1 , r_2 , R_1 , R_2 – сталі, то

$$\varphi = f(R_t).$$

Таким чином, логометр вимірює опір R_t . А позаяк він безпосередньо вимірює відношення двох струмів, генерованих від одного джерела, то зменшення напруги останнього в певних межах не впливатиме на показання логометра.

Увімкнення послідовно з рамками r_1 і r_2 додаткових високоомних резисторів R_1 і R_2 з манганіну зменшує вплив коливань температури зовнішнього середовища на показання логометра. Однак при цьому зменшуються струми I_1 та I_2 , а отже, – і чутливість приладу. Щоб підвищити останню, рамки логометра включають у вимірювальну діагональ незрівноваженого моста (рис. 5.5).

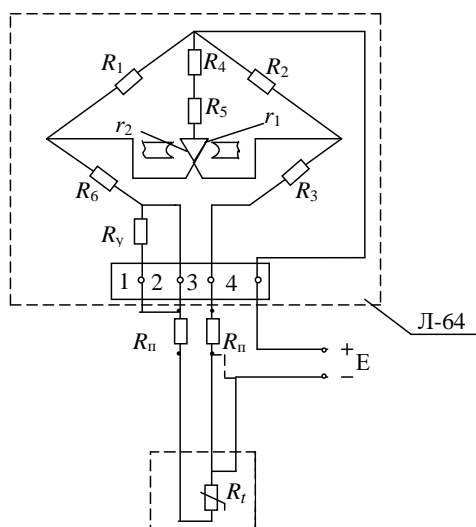


Рис. 5.5. Мостова схема логометра:

R_y – опір зрівноважувальної котушки (потрібен для пригінки опору зовнішньої лінії до значення, вказаного на шкалі приладу); опори R_1, R_2, R_3, R_6 – сталі плечі моста;
 R_t – змінний опір ТО; R_4, R_5 – опори, призначені для температурної компенсації та для зміни кута повороту рухомої системи; E – джерело живлення

Підключити термометр опору до вимірювальної схеми можна за дво- чи трипровідною схемою. В останньому випадку опір кожного з проводів, які з'єднують термометр опору з логометром, має дорівнювати половині опору лінії, вказаного на шкалі приладу.

Опис установки і послідовність виконання роботи

Лабораторна установка для перевірки автоматичних мостів і логометрів (рис. 5.6) включає в себе: автоматичні зрівноважені мости КСМ-4 і КСМ-2; логометр Л-64; автоматичний багатоточковий міст КВМ-2; взірцевий магазин опорів МСР; перемикач ПМ.

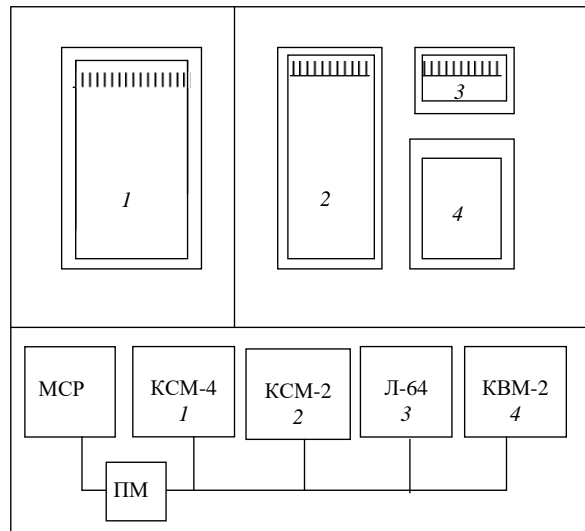


Рис. 5.6. Схема лабораторної установки

Виконуючи лабораторну роботу необхідно: перевірити автоматичний міст КСМ-4 і логометр Л-64; експериментально перевірити розраховані опори вимірюваної схеми при зміні діапазону вимірювання рівноважного моста; виміряти температуру багатоточковим автоматичним мостом КВМ-2 в різних точках приміщення.

Перевірка автоматичного моста типу КСМ-4 і логометра Л-64. Щоб перевірити міст, до нього за допомогою перемикача ПМ приєднують взірцевий магазин опорів МСР, який імітує ТО з мінімальним інтервалом зміни опору 0,01 Ом. Основну зведену похибку і варіації показань моста визначають, порівнюючи значення опорів, поданих на вхід моста за допомогою МСР для досягнення заданої температури, з показаннями, взятими з градувальної таблиці для тієї самої температури (див. дод. 2). Останні беруть за дійсні значення вимірюваної величини.

Показання моста КСМ-4 і взірцевого магазину опорів порівнюють з табличними значеннями на всіх оцифрованих точках шкали спочатку для прямого, а потім – для зворотного ходу стрілки. Отримані дані заносять у табл. 5.1, і за ними розраховують значення похибок приладу. За результатами розрахунків роблять висновок про придатність приладу до експлуатації у виробничих умовах. Аналогічно перевіряють і логометра Л-64.

Таблиця 5.1

Показання				Похибки				Зведена варіація показань, %
перевірюваного приладу		магазину опорів, Ом		абсолютні, Ом		зведені, %		
За шкалою, °С	За таблицею, Ом	Прямий хід	Зворотний хід	Прямий хід	Зворотний хід	Прямий хід	Зворотний хід	

Експериментальна перевірка розрахованих опорів вимірювальної схеми при зміні діапазону вимірювання зрівноваженого моста. Під час виконання цієї роботи використовують електронний зрівноважений міст типу КСМ-2, шкала якого перераховується, і три магазини опорів МСР з інтервалом 0,01 Ом, один з яких замінює термометр опору, а два інші – опори вимірювальної схеми моста R_1 і R_2 . Магазини опорів МСР приєднують до відповідних клем, розміщених на похилій панелі стенду.

Змінюючи діапазон вимірювання моста, послідовно розраховують опори вимірювальної схеми (див. рис. 5.3), а також перевіряють, чи не перевищує значення максимального струму, що протікає через термометр опору, максимально допустимого. Розрахунки виконують для таких значень опорів, Ом: $R_2 = R_3 = 300$; $R_4 = 4,5$; $R_{\text{п}} = 2,5$; $R_{\text{пр}} = 450$.

Відповідність заданих і отриманих діапазонів вимірювання моста перевіряють набором на МСР, який імітує ТО опорів, рівних R_{min} і R_{max} , тобто нижній і верхній межі вимірювань. Якщо задані й отримані діапазони вимірювання не збігаються, то початок і кінець шкали приганяють зміною опорів R_1 і R_2 .

Результати розрахунку і коригування зводять до табл. 5.2.

Таблиця 5.2

Опір	Значення опору, Ом	
	розрахункове	дійсне

Оформлення звіту

Звіт повинен містити схему автоматичного моста, опис установки і результати експерименту, а також висновки щодо можливості використання перевірених засобів вимірювань.

Додатки

Додаток 1

ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ¹

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 наведеним 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
ТПШ 13 Платинородій-платинові (платина – 13 % родій/платина)	ПП(R)	R	Сплав платинородій ПР-13 (87 % Pt + 13 % Rh)	Платина (Pt)	0...1300	+1600
ТПШ 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

¹ 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-нісильові (нікель – хром – кремній/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 сильх НХК 9-0,9 [(87,6 – 89,2) % Ni + (8,8 – 9,8) % Cr + (0,6 – 1,2) % Si + 1 % Mn, Fe]	Нікелевий сплав силін НК 2,4 [(91,8 – 92,6) % Ni + (2,0 – 2,8) % Si + 1 % Mn, Fe]	0...+800	+800
ТВР Вольфрамрентій-вольфрамрентієві	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 вольфрамрентій ВР-5 (95 % W + 5 % Re)	Сплав вольфрамрентій 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, °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
-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	31,376	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 ДІ.4. Хромель-копелеві ТП (тип ТХК)
Номінальна статична характеристика перетворення L
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
-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 O₂, H₂O, SO₂, NO, H₂S. Високий ресурс термоелектронів ТП забезпечує заповнення захисного чохла аргонном. 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-Ех (0...900 °С).

ТЕРМОПЕРЕТВОРЮВАЧІ ОПОРУ¹

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	

¹ 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 НСХ 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

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
-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
500	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	3,6286	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	3,9859	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	4,4304	4,4053	4,4081
1010	4,4109	4,4137	4,4165	4,4193	4,4221	4,4248	4,4276	4,4581	4,4332	4,4359
1020	4,4387	4,4415	4,4443	4,4470	4,4498	4,4526	4,4553	4,4857	4,4609	4,4636
1030	4,4664	4,4691	4,4719	4,4747	4,4774	4,4802	4,4829	4,5132	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	2,5772	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 платинового ТО з $W_{100} = 1,3910$:

$$W_t = 1 + At + Bt^2 + C(t - 100)t^3 \text{ — для діапазону температур } -200 \dots 0 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$W_t = 1 + At + Bt^2 \text{ — для діапазону температур } 0 \dots 600 \text{ } ^\circ\text{C},$$

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

$$W_t = 1 + At + Bt^2 \text{ — для діапазону температур } +600 \dots +1100 \text{ } ^\circ\text{C},$$

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

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

$$W_t = 1 + At + Bt^2 + C(t - 100)t^3 \text{ — для діапазону температур } -200 \dots 0 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$W_t = 1 + At + Bt^2 \text{ — для діапазону температур } 0 \dots +850 \text{ } ^\circ\text{C},$$

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 $W_{100} = 1,4280$:

$$W_t = 1 + A(t - 13,7) \text{ — для діапазону температур } -200 \dots -185 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$W_t = 1 + \alpha t + Bt(t - 10) + Ct^3 \text{ — для діапазону температур } -185 \dots -100 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$W_t = 1 + \alpha t + Bt(t - 10) \text{ — для діапазону температур } -100 \dots -10 \text{ } ^\circ\text{C};$$

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

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⁻¹.

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⁻¹; $B = 6,7556 \cdot 10^{-6}$ °C⁻²; $C = 9,2004 \cdot 10^{-9}$ °C⁻³.

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 , α встановлюють відповідно до п. 2.5 цього додатка.

Значення ΔR_t можна визначити також за рівнянням

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

де ΔR – приріст опору в околі температурної точки t ; Δt_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 ПРОВІДИ¹

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 «X», 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 «C», 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 *A* чи *B*. Ці додаткові літери *A* чи *B* 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 наведеним у табл. ДЗ.1.

Таблиця ДЗ.1. Основні характеристики подовжувальних і компенсаційних проводів

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

Тип про- воду	Допуск до класу, мкВ (°C)		Температурний діапазон застосуван- ня проводу, °C	Максимальна темпера- тура вимірювального спаю, °C
	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 °C становить 40 мкВ. Для максимальної температури вимірювального спаю +1400 °C температурний еквівалент становить +3,5 °C.

3.3. Система ідентифікації за кольором

1. Колір ізоляції негативного провідника для всіх типів ТП має бути БІЛИМ.
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>) Хромель-константанові (нікельхроммідьнікелеві [*]) ТХКн(<i>E</i>) Залізо-константанові (залізо-мідьнікелеві [*]) ТЗК(<i>J</i>) Хромель-алюмелеві (нікельхромнікельалюмінієві [*]) ТХА(<i>K</i>) Платинородій-платинові ТПП 13 (<i>R</i>) і ТПП 10 (<i>S</i>) Мідь-копелеві ТМК(<i>M</i>) Хромель-копелеві ТХК(<i>L</i>) Сильх-силінові ТСС(<i>I</i>) Вольфрамрений-вольфрамренієві ТВР (<i>A-1, A-2, A-3</i>)	Коричневий Фіолетовий Чорний Зелений Оранжевий Червоний Рожевий Жовтий Синій

^{*} Назви типів ТП встановлено міжнародними стандартами.

Список використаної та рекомендованої 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. **Датчики** [Текст]: Справочник / Сост.: З. Ю. Готра, Л. Я. Ильницький, Е. С. Полищук и др.; Под ред. З. Ю. Готры, О. И. Чайковского. – Львов: Каменяр, 1995. – 312 с.: іл. – Библиогр.: в конце глав. – ISBN 5-7745-0233-3.
4. ДСТУ ГОСТ 8.586(1–5):2009 (ИСО 5167-(1:4):2003). Межгосударственный стандарт [Текст]: Метрологія. Вимірювання витрати та кількості рідини й газу із застосуванням стандартних звужувальних пристроїв. – Чинний від 01.04.2010. – К.: Держстандарт України, 2010.
5. **Калениченко А. Ф.** Справочник инженера по контрольно-измерительным приборам и автоматике [Текст] : учеб.-практ. пособ. / А. Ф. Калениченко, Н. В. Уваров, В. В. Дойников ; под ред. А. Ф. Калениченко. – М.: «Инфра-Инженерия», 2008. – 576 с.: іл. – Библиогр.: с. 551–553. – 2000 экз. – ISBN 978-5-9729-0017-6.
6. **Лукінюк М. В.** Технологічні вимірювання та прилади [Текст] : Навч. посіб. для курс. проектування. – К.: НТУУ «КП», 2002. – 268 с. : іл. – Бібліогр.: с. 241.
7. **Лукінюк М. В.** Технологічні вимірювання та прилади [Текст] : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / М. В. Лукінюк. – К.: НТУУ «КП», 2007. – 436 с. : іл. – Біблігр.: с. 427-428. – 200 пр. – ISBN 978-966-622-247-6.
8. **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 «Політехніка»”, 2012. – 336 с. : іл. – Бібліогр.: с. 328–330. – 300 пр. – ISBN 978-966-622-530-9.
9. **Храмов А. В.** Первинні вимірювальні перетворювачі вимірювальних приладів і автоматичних систем: Навчальний посібник. – К.: «Вища школа», 1998. – 527 с.

Зміст

Загальні відомості про вимірювання та засоби вимірювальної техніки	3
Лабораторна робота 1	
СТАТИЧНІ ТА ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБ'ЄКТА	
КЕРУВАННЯ.....	14
Лабораторна робота 2	
ВИЗНАЧЕННЯ ПОХИБОК ТЕРМОПАР	19
Лабораторна робота 3	
ПЕРЕВІРЯННЯ ВИМІРЮВАЧІВ ТИСКУ ТА РОЗРІДЖЕННЯ.....	24
Лабораторна робота 4	
ВИЗНАЧЕННЯ СТАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МІЖСИСТЕМНИХ	
ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ СИГНАЛІВ	31
Лабораторна робота 5	
ПЕРЕВІРЯННЯ АВТОМАТИЧНИХ ПОТЕНЦІОМЕТРІВ І	
МІЛВОЛЬТМЕТРІВ	36
Лабораторна робота 6	
ПЕРЕВІРЯННЯ АВТОМАТИЧНИХ МОСТІВ І ЛОГОМЕТРІВ	46
ДОДАТКИ	
Додаток 1. ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ	53
Додаток 2. ТЕРМОПЕРЕТВОРЮВАЧІ ОПОРУ	66
Додаток 3. ПОДОВЖУВАЛЬНІ ТА КОМПЕНСАЦІЙНІ ПРОВОДИ	80
Список використаної та рекомендованої літератури	83

ЕЛЕКТРОННЕ НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

МЕТРОЛОГІЯ

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт
для студентів напрямку підготовки
«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Укладачі: Лукінюк Михайло Васильович, старш. викл.

Сташкевич Павло Миколайович, старш. викл.

Відповідальний
редактор

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

Рецензент

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

У авторській редакції