Лекція 15. Засоби вимірювання температури

1. Основні терміни і визначення, класифікація методів і засобів вимірювання температури.
2. Термометри розширення – механічні і рідинні.
3. Біметалічні і дилатометричні перетворювачі температури.
4. Термометричні вимірювальні прилади (ТП) температури стандартних номінальних статичних характеристик перетворення.
5. Термоперетворювачі опору. Автоматичні мости.

1. Основні терміни, класифікація методів і засобів вимірювання температури

Температура – основний технологічний параметр, від якого залежить в багатьох випадках якість продукції, що випускається на підприємствах переробної промисловості. Практично в кожному технологічному процесі здійснюється теплова обробка сировини або продуктів, що потребує точного вимірювання температури. Нині у різних галузях науки і промисловості застосовують десятки методів вимірювання температури.

Температура – фізична величина, яка характеризує внутрішню енергію тіла, не піддається безпосередньому вимірюванню, тому вона перетворюється за допомогою перетворювачів в іншу фізичну величину (об'єм, лінійні розміри, електричний опір, терморушійну силу та ін.), яка може бути визначена безпосередньо.

Для вимірювання температури необхідно мати не лише одиницю вимірювання, але і шкалу за якою визначається результат вимірювання температури.

Стандартом ГОСТ 26156-75 для вимірювання температури передбачається використання двох температурних шкал: термодинамічної та міжнародної практичної.

Термодинамічна температурна шкала (ТТШ) Кельвіна, температура позначається літерою Т, за одиницю температури прийнято Кельвін (К), заснована на другому законі термодинаміки (обернений цикл Карно). Відтворення її пов'язане з великими труднощами при практичному використанні.

Міжнародна практична температурна шкала (МПТШ) співпадає з ТТШ з такою точністю, яка експериментально може бути відтворена. У даний час діє шкала МПТШ-68, розроблена більш точна МТШ-90. Для збереження сумісності термодинамічної і стоградусної температурної шкали Цельсія температурний проміжок між точками розтавання льоду і кипіння води залишили рівним 100^0. Числові значення температури рівноправно виражаються як в кельвінах (К), так і в градусах Цельсія (^{0}С), але мають початок відрахунку. Вони пов'язані наступним співвідношенням:

$$T = t + 273.15, \qquad (5.3)$$

де Т – термодинамічна температура, К; t – температура в МПТШ-68,^{0}С.

У США та інших англомовних країнах прийнято вимірювати температуру по шкалі Фарангейта, при цьому

$$tF= 1.8\ t+32;\ t= (tF- 32), \qquad (5.4)$$

Методи вимірювання температури можливо поділити на дві групи контактні і безконтактні.

У залежності від принципу дії, промислові засоби вимірювання температури розділяються на такі групи вимірювання:
термометри розширення, манометричні термометри; термоперетворювачі опору, термоелектричні перетворювачі, пірометри.

Пірометри вимірюють температуру безконтактним методом.

2.Термометри розширення – механічні і рідинні

2.1.Термометри рідинні скляні

Принцип дії скляних рідинних термометрів грунтується на тепловому розширенні термометричної рідини, розміщеної в скляному резервуарі, під впливом температури.

Приріст об'єму під дією температури має залежність:

$$\Delta V= (\beta-3 \cdot \alpha) \cdot (t - t_0) \cdot V_0 \qquad [м^3], \qquad (5.5)$$

де α і β - коефіцієнти об'ємного розширення відповідно рідини і скла термобалона, $1/\ ^0C$; t – вимірювана температура, ^0C; t_0 - температура заповнення термосистеми рідиною, рівна 20^0C; V – об'єм термобалона, $м^3$.

У скляних термометрах використовуються такі термометричні рідини: ртуть Hg, етиловий спирт C_2H_5OH, толуол $C_2H_5CH_3$, пентан C_5H_2, гас та інші. За призначенням скляні термометри поділяються на такі групи: зразкові, лабораторні та технічні.

3. **Біметалічні і дилатометричні перетворювачі температури**

Принцип дії дилатометричних та біметалічні термометрів грунтується на зміні своїх лінійних розмірів під впливом температури:

$$l_t = l_0 \cdot [1 + \alpha \cdot (t_1 - t_0)], \qquad (5.6)$$

де: l_t та l_0 - лінійні розміри чутливого елемента при температурі 20^0C та t, м;
α – середній коефіцієнт лінійного розширення твердого тіла, $^0C^{-1}$; t_1 і t_0 – температура градуювання (20^0C) та температура вимірювання, ^0C. Вільний кінець трубки переміщується на більшу величину ніж стержень.

Дилатометричні термометри випускаються промисловістю на різні діапазони в інтервалі від –30 до 1000 ^0C, класи точності 1,5; 2,5.

Біметалічні термометри випускаються промисловістю в інтервалі від 60 до 700 ^0C на різні діапазони вимірювання. Класи точності 2,0 і 2,5. Крім того, біметалічні елементи використовуються для термокомпенсації в вимірювальних приладах.

4. **Термоелектричні вимірювальні прилади (ТП) температури стандартних номінальних статичних характеристик перетворення**

4.1. Термоелектричні термометри

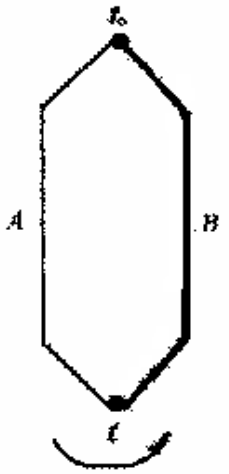


Рис.5.4. Термопара

У основу вимірювання температури термоелектричними перетворювачами (термопарами) покладено термоелектричний ефект, суть якого полягає в тому, що в замкненому електричному колі, до складу якого входить два і більше різнорідні метали (рис.5.4), виникає електричний струм, якщо місця з'єднання цих провідників мають різну температуру. З'єднання, яке має температуру t, називається робочим (гарячим), а з'єднання, що має постійну температуру t_0 – називається вільним кінцем термоелектричного термометра. Провідники А і В називаються термоелектродами.

Термоелектричний ефект пояснюється наявністю вільних електронів в металах електродів, число яких в одиниці об'єму для різних металів різне. Допустимо, що в з'єднанні двох термоелектродів з температурою t електрони із металу А дифундують в метал В більшій кількості, ніж у зворотному напрямку, тому метал А заряджується позитивно, а метал В – від'ємно. Електричне поле, яке виникає в місці з'єднання (спайці) двох металів, перешкоджає цій дифузії і коли під впливом сталого електричного поля, настане стан рухомої динамічної рівноваги. При такому стані між провідниками А і В виникає різниця потенціалів, величина якої пропорційна температурі з'єднаних електродів. Ця різниця потенціалів називається контактною термоелектрорушійною силою (ТЕРС) термопари.

Проте в простому термоелектричному колі, до складу якого входять провідники А і В виникають термо-ЕРС в обох спайках. Сумарна ТЕРС замкненого кола із двох провідників А і В, спайки яких мають різні температури, дорівнює:

$$E_{AB\,(t;\,t0)} = e_{AB\,(t)} - e_{AB\,(t0)}, \qquad (5.7)$$

Таким чином, ТЕРС термопари не залежить від кількості послідовно підключених провідників, а залежить лише від різниці температур робочої та холодної спайок провідників термоелектричного термометра.

Якщо ж температура вільних кінців дорівнює 0°С, то вимірювана температура визначається безпосередньо по градуювальній таблиці відповідного термоелектричного термометра.

У відповідності з державними стандартами найбільше практичне використання одержали стандартні термоелектричні перетворювачі (таблиця 5.1), термоелектроди яких виготовлені як із чистих матеріалів, так і сплавів.

Таблиця 5.1. Основні дані термоелектричних перетворювачів

Матеріали електродів	Позначення градуювальної характеристики	Температурні межі вимірювання, ^{0}С		ТЕРС при 100^{0}С; тВ
		нижня	верхня	
Платинородій (10% родія)-платина	S(ПП)	0	1300	0,64
Платинородій (30% родія) – платинородій (6% родія)	В (ПР)	300	1600	0
Хромель - алюмель	К (ХА)	-200	1000	4,10
Хромель-копель	ХК	-200	600	6,95
Вольфрамій (5% Ке) Вольфрамреній (20% Re)	ВР-5/20	0	2300	-

4.2. Мілівольтметри

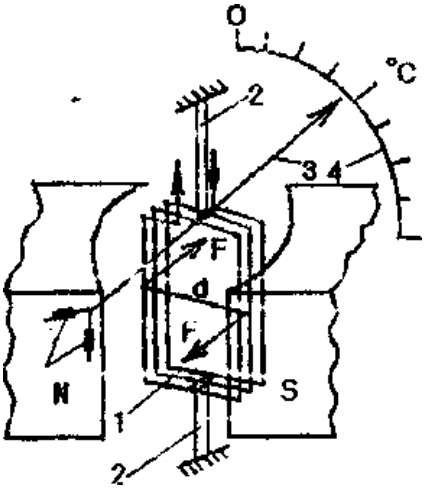


Рис. 5.5. Мілівольтметри

Принцип дії мілівольтметра, (рис.5.5) грунтується на взаємодії двох магнітних полів: постійного магнітного поля приладу N-S та магнітного поля рамки, по якій проходить струм від термоперетворювача. Сила струму залежить

від температури вимірювання. Чим більша температура в об'єкті, тим більша ТЕРС, а відповідно більший струм. Сила F, яка діє на рамку, направлена перпендикулярно до напрямку струму та магнітного потоку, пропорційна довжині активних провідників 1, силі струму I, магнітній індукції B та синусу кута між напрямком струму і магнітного поля:

$$F = nlIB \cdot \sin(IB), \qquad (5.8)$$

Сили F діють на рамку перпендикулярно до довжини провідника 1 і магітного поля B по дотичній до кола з діаметром d рамок.

Виходячи з цього обертовий момент ($M_{об}$), який діє на рамку, дорівнює:

$$M_{об} = F \cdot d = n \cdot l \cdot I \cdot B \cdot d, \qquad (5.9)$$

Одночасно з обертовим моментом на рамку 1 діє зрівноважуючий механічний момент ($M_{мех}$) берилієвих розтяжок 2, якими жорстко закріплена рамка у магітному полі. Механічний момент утворюється за рахунок зкручування розтяжок і пропорційний куту обертання ϕ та питому протидіючому моменту W. При наявності такого протидіючого моменту рамка повертається до повного зрівноваження моментів:

$$M_{об} = M_{мех} = F \cdot d = n \cdot l \cdot I \cdot B \cdot d = \phi \cdot W, \qquad (5.10)$$

$$\varphi = \frac{n \cdot 1 \cdot B \cdot d \cdot I}{W} = K \cdot I, \qquad (5.11)$$

де: К – чутливість вимірювального механізму до струму.

Таким чином, кут обертання пропорційний чутливості вимірювального механізму і струму, який проходить по рамці.

До рамки мілівольтметра жорстко прикріплена алюмінієва стрілка 3, яка врівноважена вагами 5. По положенню стрілки на шкалі визначається значення вимірюваної величини.

4.3. Автоматичний потенціометр

У основу роботи **автоматичного потенціометра (**рис.5.6.**)** покладено компенсаційний метод, суть якого полягає в тому, що вимірювана ТЕРС термоперетворювача ЕТП компенсується напругою вимірювальної діагоналі а-в мостової схеми потенціометра. Сигнали від ТЕРС термоперетворювача $E_{ТП}$ та вимірювальної діагоналі $U_{ав}$ включені послідовно і зустрічно. Якщо $U_{ав} \neq E_{тп}$, то на вхід ЕП подається різницевий сигнал, який підсилюється підсилювачем, а на обмотку управління реверсивного двигуна РД подається напргуга з чстотою 50 Гц. Реверсивний двигун через редуктор переміщує повзунок по реохорду, компенсуючи таким чином ТЕРС термоперетворювча до повного зникнення сигналу небалансу (ΔF=0). РД при цьому зупиниться, а стрілка по шкалі приладу покаже значення вимірюваної температури.

Рис.5.6. Схема автоматичного потенціометра

Для автоматичного введення поправки на температуру вільних кінців термоперетворювача в мостову схему потенціометра включено мідний резистор $R_м$. Всі інші резистори схеми – манганінові. Потенціал точки “а” відповідає потенціалу робочого кінця ТП, а потенціал точки “в” – потенціалу його вільних кінців.

Промисловістю випускаються мілівольтметри типів: Ш-69003, Ш-69004,Ш-4500, Ш-4540, Ш-4541, МВУ6-41, Ш-4540, Ш-4541, М1730, М1530, а також автоматичні потенціометри, як показуючі, типів: КПП і КВП, так і самопишучі, типів: КСП-1, КСП-2, КСП-4, ДИСК-250, РП-160 та ін. Класи точності мілівольтметрів 1,0; 1,5; 2; 2,5; а автоматичних потенціометрів: 0,25; 0,5; 1,0.

5. Термоперетворювачі опору. Автоматичні мости.

5.1. Термометри опору.

Мідні та платинові термометри опору прості за конструкцією, надійні в роботі, доступні при використанні. Принцип дії грунтується на зміні електричного опору провідників або напівпровідників під впливом температури і описується рівняннями:

для провідників: $R_t = R_o(1+a \cdot t)$, (5.12)

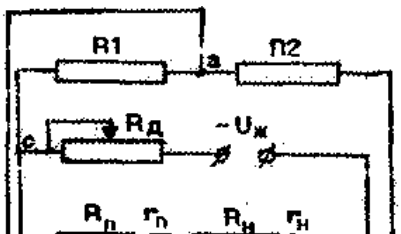
для напівпровідників: $R_t = R_o(1+\beta \cdot t)$, (5.13)

де α і β - коефіцієнти електричного опору провідників і напівпровідників.

Термометри опору мідні використовуються для вимірювання температури від –200 до + 180 ^{0}С і мають лінійну залежність опору від температури. Вони виготовлені із мідного дроту діаметром 0,1 мм. Номінальний опір термометрів при 0^0С становить 10, 50 і 100 Ом відповідно до градуювання 10М, 50М і 100М. Платиновими термометрами вимірюють температуру від –260 до +1100^{0}С.

Промислові термометри виготовляють із платинового дроту діаметром 0,05-0,1 мм. Номінальний опір термометрів при 0^0С становить 1; 5; 10; 50; 100; 500 Ом відповідно до градуювання 1П, 5П, 10П, 50П, 100П, 500П.

Термометри опору працюють у комплекті із зрівноваженими і незрівноваженими мостами та логометрами.



5.2. Автоматичний міст

У основу роботи автоматичного моста (рис.5.7) покладено компенсаційний метод, за яким зміна опору термометра компенсується автоматично шляхом перерозподілу опору реохорда між суміжними плечами моста. Основними вузлами моста є вимірювальна мостова схема, електронний підсилювач ЕП, реверсивний РД та синхронний СД двигуни, механізм запису та термометр опору. Міст складається із чотирьох плечей,. Які утворюють дві діагоналі: вимірювальну (а-в) і живильну (с-д). У одне із плечей включено термометр опору, а реохорд R_p підключений між двома суміжними плечами моста, живлення якого проводиться змінним струмом. Автоматичний міст буде у врівноваженому стані тоді, коли добутки.

Рис. 5.7. Схема автоматичного моста

опорів протилежних плеч будуть рівні між собою:

$$R_I (R_t + R_{пI} + R_{пр}) = (R_2 + R_{п2})(R_2 + r_п + R) \qquad (5.14)$$

При зміні температури в об’єкті змінюється величина опору термометра, що проводить до порушення рівноваги моста. У вимірювальній діагоналі виникає сигнал ΔU, який подається на ЕП і реверсивний двигун РД. Останній переміщує повзунок реохорда до усунення сигналу небалансу і досягнення рівноваги моста. РД зупиниться, а стрілка приладу покаже нове значення температури. Промисловістю випускаються автоматичні мости таких типів: ІСМ 140; ІСПМІ; КВМ1; КСМ2; КСМ4; ДИСК-250; РП 160 та ін. Класи точності: 0,25; 0,5; 1,0; 1,5.