

6 ПРИЗНАЧЕННЯ І КЛАСИФІКАЦІЯ КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ

Призначені параметри роботи печі (температура, тиск під склепінням, витрата палива і ін.) вимірюються і підтримуються на заданому рівні за допомогою контрольно-вимірювальних приладів (КВП).

Теплотехнічні прилади підрозділяють на дві групи: перетворювачі (датчики) і вторинні прилади.

Датчик вимірює фізичні параметри печі (тиск, витрату, температуру) і перетворить їх в ЕРС або тиск, або який-небудь інший сигнал, який по лінії зв'язку (проводам або імпульсним трубкам) передається на вторинний прилад або регулятор.

Вторинні прилади класифікують за призначенням і характером використання. За призначенням їх підрозділяють на такі, що показують, самописні і інтегруючі. Прилади, що показують, дозволяють відлічити значення вимірюваної величини тільки у момент вимірювання. Самописні прилади забезпечуються пристроєм для запису вимірюваного параметра на діаграмний папір. Вони можуть бути одночасно і такими, що показують. Інтегруючі прилади (лічильники) визначають сумарне значення вимірюваної величини (витрата газу) за той або інший проміжок часу.

По характеру використання КВП підрозділяють на робочі і зразкові (еталонні), призначені для перевірки робочих приладів.

Вторинні прилади характеризують класом точності, що визначає точність або погрішність вимірювання параметра. Клас точності визначається величиною погрішності в показаннях приладу, вираженою у відсотках від максимального значення шкали. Якщо клас точності, наприклад, дорівнює 2, то при максимальному значенні шкали приладу для вимірювання температури, рівної 1000°C, помилка у вимірюваннях буде 20°C. При температурі 100°C помилка у вимірюваннях буде також 20°C, а відносна помилка збільшиться до 20%. Промисловість випускає прилади класів точності 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5.

КВП підрозділяють також по вигляду вимірюваного параметра. Існують прилади для вимірювання тиску, витрати, температури, рівня рідини, складу газової фази і так далі.

6.1 Прилади для вимірювання тиску

Позитивний (вище атмосферного) тиск вимірюють манометрами, а негативний (менше атмосферного) – вакуумметрами.

Одиницею вимірювання тиску є Паскаль (Па). Проте малий тиск або розрідження часто вимірюють в міліметрах водяного або ртутного стовпа.

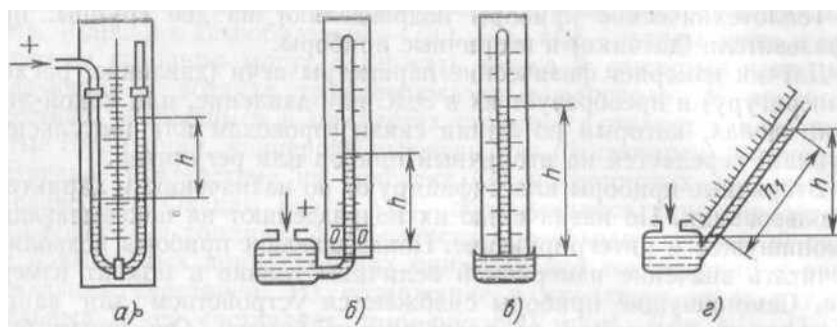
За принципом дії прилади підрозділяють на рідинні і з пружними елементами.

У рідинних мікроманометрах тиск вимірюваного середовища врівноважується тиском стовпа води, спирту або ртуті (рис. 6.1). На рис. 6.1 (а) приведена схема U-подібного скляного мікроманометра. Коліна мікроманометра

можуть бути сполучені з двома місцями відбору тиску в точках газо- або повітропроводу. В цьому випадку різницю рівнів покаже різниця тиску в каналі. Однотрубні мікроманометри (рис. 6.1, б, в і г) мають три основні частини: шкалу, резервуар (чашку) і трубку. Мікроманометр з похилою трубкою (рис. 6.1, г) зазвичай використовують для вимірювання дуже малого тиску або розріджень. Нахил шкали дозволяє значно збільшити ціну ділення шкали. Тиску h відповідає шкала h_1 . Очевидно, що $h_1 > h$.

Рідинні мікроманометри набули поширення в цехах при вимірюваннях надмірного тиску до 10 кПа.

При вимірюванні тиску більше 5,5 кПа зазвичай використовують манометри з пружними елементами, що дозволяють вимірювати тиск до 1000 МПа.



У-подібний; б – однотрубний; у – ртутний; г – з похилою шкалою

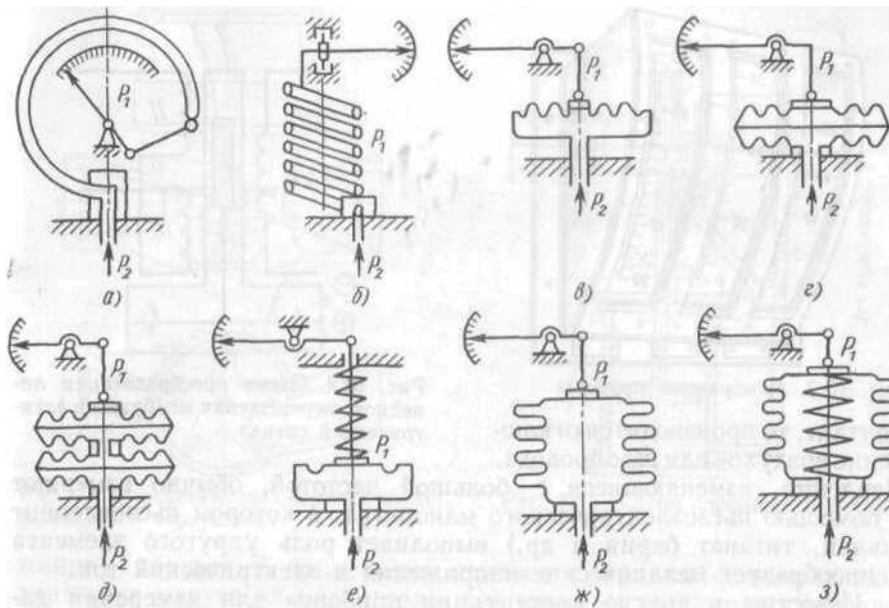
Рисунок 6.1 – Схеми рідинних мікроманометрів:

Принцип дії цих приладів полягає в тому, що сили тиску або розрідження пружно деформують чутливий елемент: пружину, мембрану, сильфон або їх комбінацію. Деформація пружного елемента супроводжується його переміщенням. Спеціальними деталями переміщення чутливого елемента посилюється і передається на вимірювальну частину приладу (рис. 6.2). Чутливими елементами можуть бути одно- і багатовиткові пружини (рис. 6.2, а, б), пружні мембрани (рис. 6.2, в), пружні одинарні і подвійні мембранні коробки (рис. 6.2, г, д), пружини і мембрани (рис. 2, е), сильфони (гофровані тонкостінні трубки) (рис. 6.2, ж), пружини і сильфони (рис. 6.2, з).

Манометри з одновитковою пружиною набули широкого поширення. Вони розраховані на використання при температурі навколишнього середовища від -4 до $+60^{\circ}\text{C}$. Їх випускають такими, що показують, самописними і безшкальними, з вбудованим перетворювачем для дистанційної передачі показів. Пружина в перетині має овальну або еліпсоподібну форму. При підвищенні тиску трубка деформується з еліпсоподібної в круглу. Тому в металі трубки виникає напруження, яке є причиною випрямлення трубки.

Зовнішній вигляд мембранних приладів показаний на рис. 6.3.

Для вимірювання тиску кисню, водню, ацетилену, аміаку і інших газів обов'язково слід використовувати манометри спеціального призначення.



а – одновиткові трубчасті пружини; б – багатовиткові трубчасті пружини; в – пружні мембрани; г – пружні мембранні коробки; д – подвійні мембранні коробки; з – пружинно-мембранні; ж – сільфонні; з – пружинно-сільфонні

Рисунок 6.2 – Схеми пружних елементів

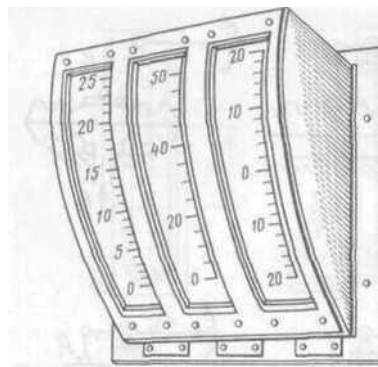


Рисунок 6.3 – Мембранні прилади

На рис. 6.4 показана схема приладу для перетворення перепаду (різниці) тиску в електричний сигнал. Пружна мембрана приладу 1 розміщена у корпусі. Верхня камера, позначена знаком «мінус», забезпечена трубкою 2 з немагнітного матеріалу. Усередині трубки розміщується плунжер з легкого сплаву, сполучений з мембраною. На другому кінці плунжера знаходиться сердечник з магнітного матеріалу 3. Плунжер і сердечник під впливом мембрани можуть переміщатися у вертикальному напрямі усередині диференціально-трансформаторного перетворювача. Перетворювач складається з первинної котушки I і двох вторинних II і III, розташованих симетрично і сполучених зустрічно. При розташуванні сердечника посередині в котушках наводиться струм, рівний по силі, але протилежний по фазі. Тому результуюча напруга буде дорівнювати нулю. Переміщення сердечника під впливом мембрани вгору або вниз супроводжуватиметься наведенням різної напруги у вторинних обмотках.

По величині результуючої напруги можна судити про перепад тиску. Сигнал розбалансу може бути переданий в електронний підсилювач, а з нього на двигун, що приводить в рух регулюючий дросель. Шток може мати кінцеві вимикачі, відповідні максимуму і мінімуму тиску.

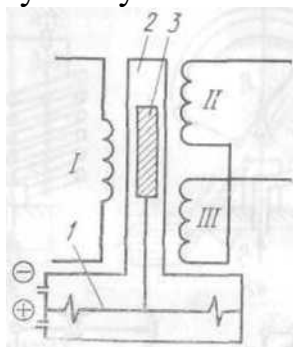


Рисунок 6.4 – Схема перетворення лінійного переміщення мембрани в електричний сигнал

При замиканні максимального контакту двигун за допомогою дроселя зменшує тиск, а якщо буде замкнутий мінімальний контакт, то проводиться відключення воздухо– або газопроводу.

Тиск, що змінюється з великою частотою, зазвичай вимірюють за допомогою п'єзоелектричного манометра, в якому п'єзоелемент (кварц, титанат барію і ін.) виконує роль пружного елементу і перетворює механічну напругу в електричний струм.

Відомі і інші конструкції приладів для вимірювання тиску.

6.2 Прилади для вимірювання витрат рідини і газів

Кількість газу або рідини, що протікають по каналу в одиницю часу, називають витратою ($\text{м}^3/\text{год}$, $\text{кг}/\text{с}$, $\text{л}/\text{с}$, $\text{м}^3/\text{с}$ і т.д.). Прилади, призначені для вимірювання витрат, називають витратомірами. Якщо прилади проводять підсумовування витрат за який-небудь період часу, то їх називають лічильниками.

Прилади, використовувані в ковальських і термічних цехах, за принципом дії підрозділяють на тахометричні лічильники, витратоміри постійного і змінного перепадів.

В основу вимірювання тахометричними лічильниками закладений принцип вимірювання числа оборотів вертушки або крильчатки, кутова швидкість яких пропорційна швидкості потоку, що протікає через прилад. Їх використовують для вимірювання невеликих кількостей газу або рідини.

Лічильник з вертикальною вертушкою наведений на рис. 6.5. Лічильники використовують для вимірювання витрат води. У литому корпусі 1 розміщені фільтр 2 і струєвипрямляч 3 для стабілізації поля швидкостей потоку. Рухомий потік обертає лопаті крильчатки 4. Обертання крильчатки через передавальний механізм 5 передається на рахунковий механізм 6.

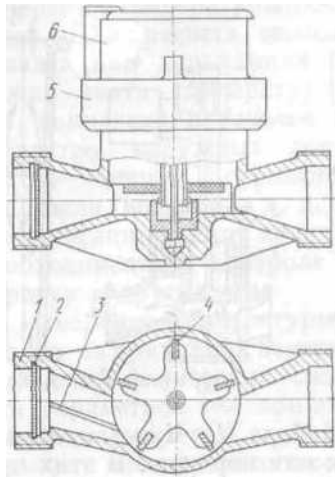


Рисунок 6.5 – Лічильник з вертикальною крильчатою вертушкою

Відомі також лічильники і з горизонтальною вертушкою.

Швидкісні лічильники не можна застосовувати для вимірювання витрати в'язких рідин, наприклад масла або мазуту. Їх витрати вимірюють за допомогою об'ємних лічильників (рис. 6.6). Мазут з магістралі поступає у вертикальний циліндр 1. При крайніх положеннях поршня 2 відбувається зміна краном 3 напрямку руху мазуту з магістралі. Він починає заповнювати вільний простір циліндра, а мазут з другої частини циліндра під впливом поршня витісняється в мережу. Об'єм мазуту, що поступає до печі, буде пропорційний об'єму циліндра і числу ходів поршня.

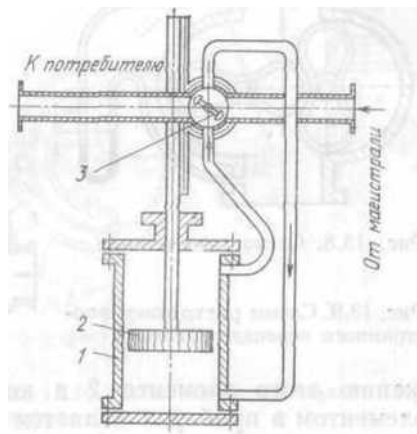


Рисунок 6.6 – Схема поршневого лічильника

Цей же принцип закладений в лічильниках з овальними шестернями для мазуту (рис. 6.7) і ротаційних для газу (рис. 6.8). У першому випадку робочим органом служать овальні шестерні 1, а в другому – дві лопаті у формі вісімок. Потік рідини 2 або газу обертає рухомі елементи, і за один їх оборот вони подають в мережу певний об'єм вимірюваної речовини.

Для вимірювання витрат методом постійного перепаду тиску використовують поплавцеві витратоміри (рис. 6.9, а), поршневі (рис. 6.9, б) і

ротаметри (рис. 6.9, в). Перепад тиску виникає при русі потоку через звужений перетин. Площа цього перетину змінюється відповідно до зміни витрати, а не залишається постійною. Зміна перетину здійснюється за допомогою рухомого чутливого елементу. Про величину витрати судять по положенню цього елемента 2 в корпусі приладу 1. Чутливим елементом в приладах є поплавець або поршень. У цих приладах висота підйому чутливого елемента визначається рівністю сил, що діють на елемент. На нього діють підйомна сила, обумовлена рухом потоку, сили тертя і тяжкості.

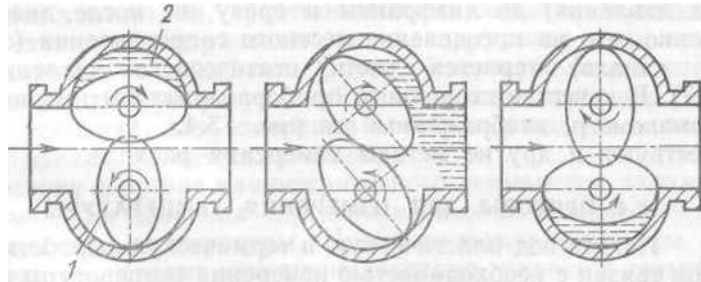


Рисунок 6.7 – Схема шестеренчатого об'ємного лічильника

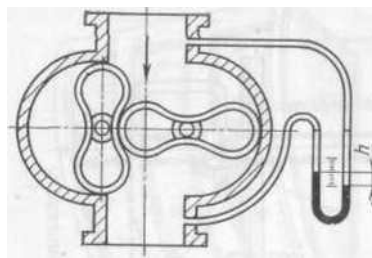


Рисунок 6.8 – Схема газового лічильника

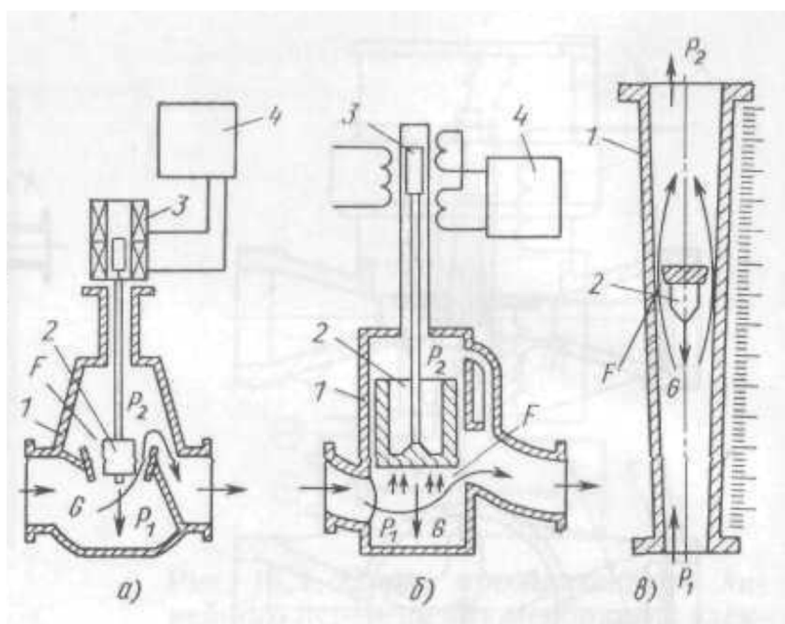


Рисунок 6.9 – Схема витратомірів постійного перепаду тиску

За допомогою диференціально-трансформаторного перетворювача 3 покази лічильника виводяться на реєструючий прилад 4. Поплавкові витратоміри і ротаметри використовують для вимірювання витрат газу. Першими можна вимірювати витрати до 10000 м³/год, а другими до 200–300 м³/год. Поршневі витратоміри зазвичай використовують для вимірювання витрат масла або мазуту.

До приладів для вимірювання витрат методом змінного тиску відносять так звані дросельні прилади (діафрагми або шайби, сопла, труби Вентурі), що набули найбільшого поширення. Суть вимірювань полягає в тому, що усередині каналу встановлюють пристрій, що звужує потік. При проходженні потоку через звуження унаслідок рівняння нерозривності швидкість потоку збільшується, що супроводжується підвищенням динамічного тиску. На підставі рівняння Бернуллі підвищення динамічного тиску повинно супроводжуватися зменшенням статичного тиску. Чим більше витрата, тим більше падіння статичного тиску після звуження. Тому основою вимірювання витрат за цим методом є вимір статичного тиску (перепад тиску) до діафрагми і відразу ж після діафрагми.

Природно, що на подолання місцевого опору (звуження перетину каналу) втрачається частина статичного тиску. Як вторинний прилад може бути використаний і мікроманометр, зображений на рис. 4.

Існують і інші методи вимірювання витрат.

6.3 Прилади для вимірювання температури

Нагрів під пластичну і термічну обробку сталі і сплавів пов'язаний з необхідністю вимірювання температури виробів, що нагрівалися. Регулювання режиму печі пов'язане з необхідністю вимірювання температури пічних газів. Для розрахунку теплового балансу при випробуваннях печі потрібно знати температуру газів, що покидають робочий простір, зовнішніх поверхонь пічних огорож, підігріву повітря і так далі. При експлуатації печі виникає необхідність в контролі температур і інших тіл.

Вимірювання температури засноване на принципах вимірювання зміни фізичних властивостей або параметрів тіл при їх нагріванні (тиск, лінійного розміру, електричного опору, інтенсивності випромінювання).

Прилади, в основу вимірювання температур яких покладено ці принципи, підрозділяють на декілька груп: 1 – рідинні скляні, стрижньові (дилатометричні), біметалічні і манометричні термометри; 2 – термометри опору; 3 – термоелектричні термометри (термопари); 4 – термометри випромінювання.

Не всі групи приладів, перераховані тут, однаково широко використовують в пічній теплотехніці. Тому нижче будуть розглянуті тільки основні прилади, використовувані при контролі і налагодженні теплової роботи печей і вимірюванні температур виробів.

За принципом дії рідинні скляні термометри нічим не відрізняються від звичайних медичних градусників, тобто вони засновані на вимірюванні об'ємного розширення рідин у вузьких капілярах при зміні температури. Межа

вимірювання температур такими термометрами визначається видом рідини, що заповнює капіляр. При заповненні його ртуттю цими термометрами можливо вимірювати температуру з -30 до $+600^{\circ}\text{C}$. Промислові термометри можуть мати не тільки прямолінійну форму. Їх часто забезпечують спеціальними оправами для захисту від механічних ушкоджень. Іноді термометри забезпечують максимальними і мінімальними контактами, що є дротами, упаяними в скло. Електричний сигналізуючий ланцюг замикається або розмикається стовпчиком ртуті. Ці термометри використовують для вимірювання температур вільних кінців термопар, в лабораторних умовах, для вимірювання температур води і масла в гартівних ваннах термічних цехів.

В основу дії манометричного термометра закладений принцип зміни тиску певного об'єму рідини або газу при зміні температури. Чутливим елементом приладу, в якому відбувається зміна тиску, є термобалон 1 (сталевий балон з корозійностійкої сталі, рис. 6.10, а), який сполучений капіляром 2 з манометричною одно– або багатовитковою пружиною 3. Капіляр – сталева або мідна трубка з внутрішнім діаметром 0,35 мм і зовнішнім 2,5 мм. Довжина капіляра змінюється від 0,6 до 60 м, тобто цей прилад дозволяє передавати значення вимірюваної величини на відстань. Зазвичай поперечний перетин манометричної пружини овальний (рис. 6.10, б), але іноді має форму, показану на рис. 6.10, в. Кінець пружини через шарнір 4, повідець 5, сектор 6 сполучений зі стрілкою приладу 7. Межі вимірювання температур цим приладом визначаються видом рідини і газу, що заповнюють систему.

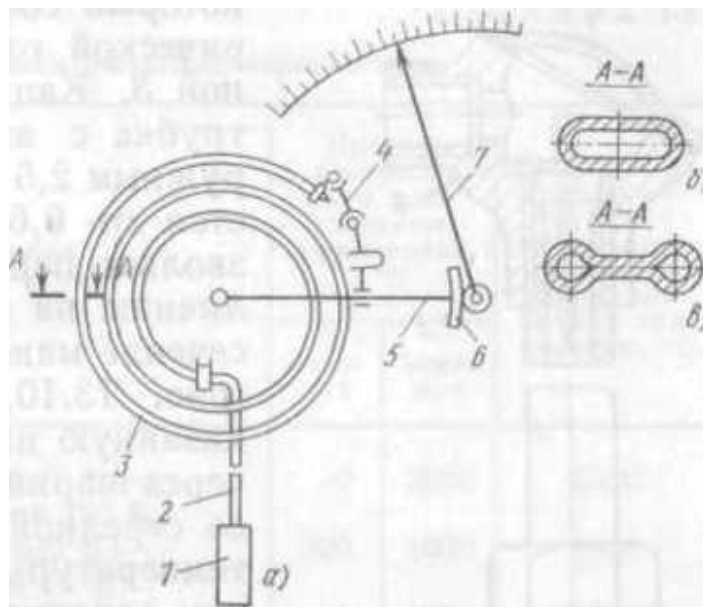


Рисунок 6.10 – Схема манометричного термометра

При заповненні приладу азотом межі вимірювання від -150 до $+600^{\circ}\text{C}$. Прилади випускають різних модифікацій: показуючі, самописні, з сигнальними і регулюючими пристроями. Їх використовують для вимірювання температур води, повітря, газу і так далі.

Іноді вимірювання температур до 600°C виконують електричним термометром опору, в якому використаний принцип вимірювання електричного опору дрітної спіралі з платини або міді.

Електричний опір металів підвищується з підвищенням температури. Тому, знаючи залежність електричного опору чутливого елементу (датчика) від температури, можна судити про температуру середовища, в яке занурений провідник. Вимірювання електричного опору можна проводити з великою точністю і на значній відстані від місця розміщення датчика. Зміна електричного опору пов'язана зі зміною електричної напруги постійного струму у вимірювальному ланцюзі. Ця залежність між опором і напругою може бути використана для автоматичного контролю і регулювання.

Низькі температури вимірюють також за допомогою термометрів опору, проте у вимірювальних схемах замість дрітних спіралей використовують напівпровідники.

Вимірювання температур в інтервалі від -200 до + 2500°C найчастіше проводять за допомогою термоелектричних пірометрів, робота яких заснована на принципі термоелектричного ефекту (термопари). Принцип вимірювання температур полягає в тому, що при нагріванні різнорідних провідників (термоелектродів) в ланцюзі, що утворена провідниками, виникає електричний струм. Електрорушійна сила (ЕРС), що виникає в шарі, пропорційна температурі шару. Вона визначається різницею температур на кінцях провідників, їх складом і не залежить від розмірів термоелектродів (довжини, діаметру), теплопровідності і питомого електроопору.

Матеріал термоелектродів і межі вимірювань температур за їх допомогою приведені в табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Характеристика термоелектричних термометрів

Тип	Градуювання	Матеріал термоелектроду	Межі вимірювання при довгостроковому використанні, °C		Максимальна температура вимірювання при короткостроковому використанні, °C
ТВР	ВР-5/20	Вольфрамрений (5%) – вольфрамрений (20%)	0	2200	2500
ТПР	ПР-30/6	Платинародій (20%) – платинародій (6%)	300	1600	1800
ТПП	ПП	Платинародій (10%) – платина	0	1300	1600
ТХА	ХА	Хромель – алюмель	50	1000	1300
ТХК	ХК	Хромель – копель	50	600	800

Діаметр термоелектродів з благородних металів звичайно 0,5 мм, а з хромеля, копеля і алюмеля – від 0,5 до 3,2 мм. Електроди на робочому (гарячому) кінці скручують і зварюють електричною дугою. Спай 1 і скручування розміщують у фарфоровому наконечнику 2 (рис. 6.11). Вище за скручування їх ізолюють один від одного фарфоровими намистами 3. Для захисту електродів від механічних пошкоджень і хімічної дії вимірюваного середовища їх розміщують усередині сталевій трубки 4 (чохла, кожуха). Зверху чохла знаходиться головка термопари 5 з клемми 6 і кришкою 7.

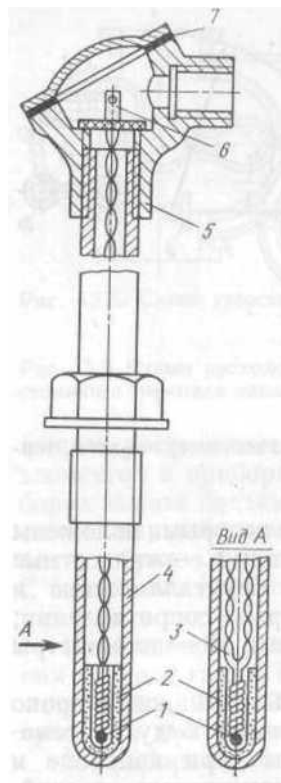


Рисунок 6.11 – Термоелектричний термометр

На величину термо-ЕРС впливає температура вільного кінця. Для зменшення помилок до клем 6 підключають компенсаційні дроти, які при температурах від 0 до 100°C мають такі ж термоелектричні характеристики, як і термопара, що дозволяє перенести вільні кінці термометра безпосередньо до вимірювального приладу.

Вимірювання термо-ЕРС можна здійснити за допомогою мілівольтметра або потенціометра. Перший метод не враховує обов'язкової втрати частини ЕРС на опір електродів і компенсаційних проводів. Другий метод позбавлений цього недоліку, що підвищує точність вимірювання температури. Він полягає в урівноваженні (компенсації) термо-ЕРС з відомою напругою на калібрувальному опорі (реохорді), що дозволяє у момент вимірювання мати у вимірювальному ланцюзі напругу, рівну нулю. Тому виключаються погрешності, пов'язані з впливом температури вільних кінців і падінням напруги в ланцюзі.

Потенціометри підрозділяють на неавтоматичні і автоматичні. Схема неавтоматичного потенціометра приведена на рис. 6.12. Термо-ЕРС врівноважують падінням напруги батареї E на реохорді R_p при переміщенні движка D . Про компенсацію струмів судять по нульовому положенню вимірювального приладу НП. Напругу батареї за допомогою опору R періодично порівнюють з напругою стандартного елемента.

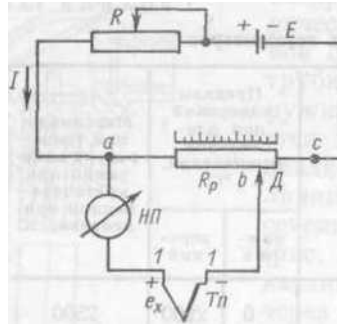


Рисунок 6.12 – Схема неавтоматичного потенціометра

Автоматичні потенціометри набули широкого поширення для вимірювання, реєстрації, сигналізації і автоматичного регулювання температури в печах. На рис. 6.13 приведена спрощена схема автоматичного потенціометра. Сигнал (термо-ЕРС) термоелектричного термометра (ТТ), рівний $E(t_2, t_0)$, порівнюється з компенсуючою напругою U_k , що знімається з діагоналі вимірювального моста ИМ. За наявності дисбалансу в ланцюзі з'являється різниця напруги, яка за допомогою віброперетворювача ВП перетворюється в слабкий пульсуючий змінний струм, який потім посилюється за допомогою підсилювачів напруги і потужності УН і УМ. Посилений сигнал подається на клему реверсивного двигуна РД. Напрямок обертання ротора двигуна залежить від знаку дисбалансу. Тому двигун переміщає движок реохорда в ту або іншу сторону для компенсації напруги, що характеризується нульовим струмом на клемі двигуна і його зупинкою. З ротором двигуна пов'язана стрілка показуючого приладу.

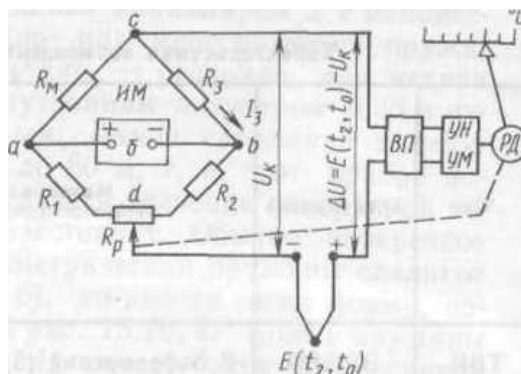


Рисунок 6.13 – Спрощена схема автоматичного потенціометра

Автоматичні потенціометри випускають самописними і такими, що показують. Один потенціометр може послідовно вимірювати і записувати від 1 до 12 показів ТТ. Потенціометри можуть бути регулюючими, з різним часом пробігу шкали стрілкою і так далі.

Вимірювання температури безконтактним методом здійснюють за допомогою оптичних пірометрів на основі використання залежності яскравості або енергії випромінювання нагрітого тіла від температури.

Принцип роботи оптичного пірометра випромінювання (рис. 6.14) заснований на порівнянні яскравості випромінювання нагрітого тіла та ниті електричної лампи 3 при довжині хвилі 0,65 мкм, що пропускається червоним світлофільтром 5. Об'єктив 1 і окуляр 4 прилади для визировання на тіло виконані рухомими. Лампа отримує енергію від батареї 7, напруга якої змінюється реостатом 8 і вимірюється мілівольтметром 6, шкала якого градуйована в градусах міжнародної стоградусної шкали.

Пірометри мають дві шкали. Одна з межамі вимірювання 800 – 1400°C, а друга 1200 – 2000°C. При використанні приладу для вимірювання температур вище 1400°C на шляху променів поміщають додатковий світлофільтр 2, що ослабляє. Вимірювання температур починають з візування приладу на нагріте тіло, а потім за допомогою реостата змінюють яскравість нагрівання до тих пір, поки верхня частина нитки не зникне на тлі нагрітого виробу. Якщо температура нитки вища за температуру тіла, то нить буде яскравішою за фон, що створюється тілом. При підігріві нитки вона буде темнішою за фон тіла, тобто її температура нижче температури виробу.

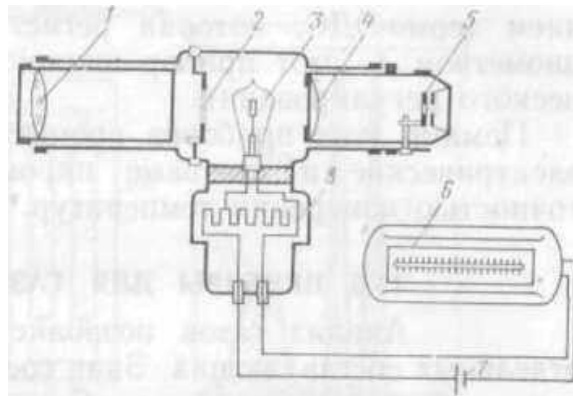


Рисунок 6.14 – Оптичний пірометр

Погрішність вимірювання температур поверхні сталевих виробів при 1200°C складає $\pm 20^\circ\text{C}$, і її величина залежить від ступеню чорноти тіла і ослаблення випромінювання в поглинаючому проміжному середовищі, наприклад в продуктах згорання.

Вимірювання температур від 400 до 2500°C проводять так само радіаційними пірометрами, які реєструють променисті потоки в інтервалі довжин хвиль 0,4 – 2,5 (4) мкм (рис. 6.15). Променистий тепловий потік від

нагрітого тіла 1 концентрується лінзою в пірметрі 2 на чутливому елементі 3, що представляє термобатарею з 10 послідовно сполучених хромель-копелевих термоелектричних термометрів 5. Нагрів батареї супроводжується виникненням термо-ЕРС, яка реєструється автоматичним потенціометром 4. Цей прилад широко використовують в схемах автоматичного регулювання.

Крім цих приладів промисловість випускає також фотоелектричні і кольорові пірметри, що мають підвищену точністю вимірювання температур.

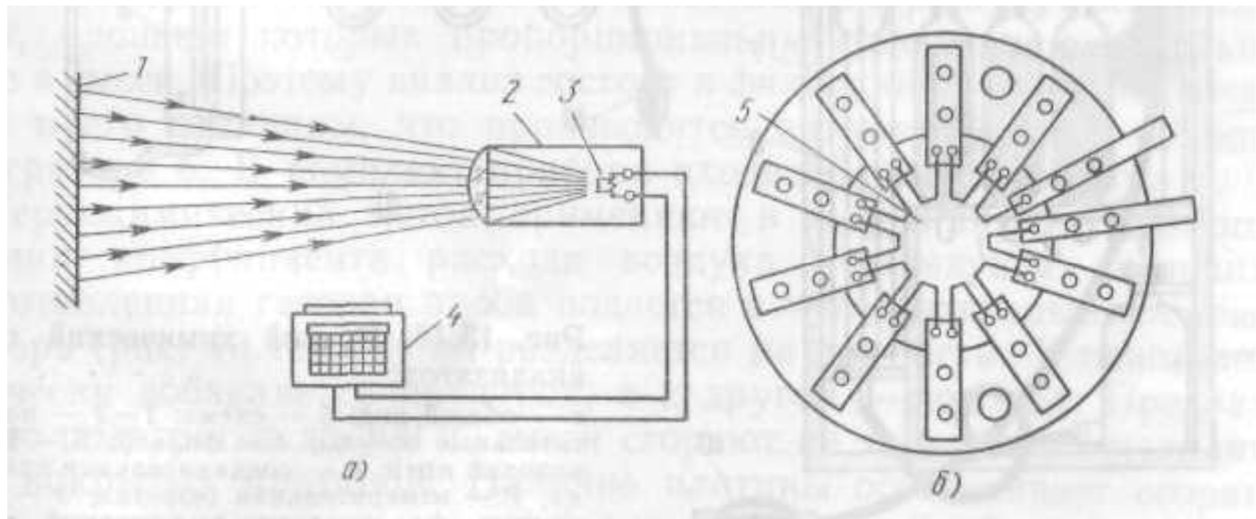


Рисунок 6.15 – Радіаційний пірметр (а), термобатарея телескопу (б)

Контрольні питання

1. Класифікація палива для нагрівальних печей.
2. Тепловий баланс печі.
3. Електричні печі непрямого нагріву.
4. Характеристика рідкого палива.
5. Показники ефективності роботи печі.
6. Індукційних нагрів металу. Сутність процесу.

Література до розділу 6: [3, 6, 8, 9]