

Міністерство освіти і науки України
Чернігівський промислово-економічний коледж
Київського національного університету технологій та дизайну

ЗАТВЕРДЖУЮ

Заступник директора з НР

_____ С.В.Бондаренко

_____ 20__ р.

**Методичне забезпечення
лекційного курсу з дисципліни Технологічні вимірювання
для студентів 4 курсу
спеціальності 5.05070104 «Монтаж і експлуатація
електроустаткування електроустаткування підприємств і
цивільних споруд**

Уклав

О.В. Шевченко

Розглянуто на засіданні
циклової комісії
спеціальних електротехнічних дисциплін
Протокол №__ від _____ 20__ року

Голова циклової комісії

В.В. Олійник

Лекція №1

Вступ. Загальні відомості про вимірювання

Мета: оволодіти знаннями про вимірювання та науку метрологію

Методи: словесний, практичний, наочний

План:

1 Метрологія – наука про вимірювання

2 Поняття – результат вимірювання

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки, слайди

Література:

1 Є.С. Поліщук Метрологія та вимірювальна техніка Львів Видавництво «Бескид Біт» 2003р 544с.

2. В.В. Кухарчук Метрологія та вимірювальна техніка Вінниця УНІВЕРСУМ 2004 -252с.

3 Е.М. Душин Основы метрологии и электрические измерения Л.; Энергоатомиздат, 1987-480с.

4 С.А. Спектор Электрические измерения физических величин Л.; Энергоатомиздат, 1987 -320с

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВИМІРЮВАННЯ

Автоматизація виробничих процесів у промисловості нерозривно зв'язана з вимірюванням різних фізичних величин та комплексних показників якості продукції. Для цієї мети використовуються різноманітні засоби вимірювань, правильність використання яких ґрунтується на положеннях метрології та вимірювальної техніки.

Метрологія в її сучасному розумінні - це галузь науки про вимірювання, методи та способи забезпечення єдності вимірювань і способи досягнення необхідної точності вимірювань.

Вимірювання - це процес знаходження (відображення) значення (розміру) фізичної величини в певних одиницях за допомогою спеціальних засобів вимірювання дослідним шляхом. Вимірювання полягає у порівнянні значення вимірюваної ФВ з іншою однорідною ФВ, умовно прийнятою за одиницю.

Фізична величина (далі ФВ) - це властивість, яка є спільною в якісному відношенні для багатьох матеріальних об'єктів, але є індивідуальною в кількісному відношенні для кожного з них. Наприклад, усі об'єкти мають масу і температуру, але для кожного об'єкта вони різні.

Для встановлення кількісного вмісту властивості , яка відображає певну ФВ, у метрології введені поняття:

- **розмір ФВ** – це кількісний вміст у даному об'єкті властивості, яка відповідає поняттю ФВ;

- **одиниця (U) ФВ** – це ФВ фіксованого розміру , якій умовно присвоєне значення одиниці й розмір якої встановлюється законодавчо метрологічними службами держави;

- **значення (Q) ФВ** – це оцінка розміру ФВ у вигляді деякого числа прийнятих для неї одиниць;

- **числове значення (n) ФВ** – це число, яке дорівнює відношенню значення ФВ до одиниці даної ФВ. Воно може бути цілим чи дробовим, але обов'язково абстрактним числом.

Значення ФВ отримують у результаті проведених вимірювань або обчислень у відповідності з основним рівнянням вимірювань:

$$Q = n * U, \quad (1.1)$$

де Q - вимірювана величина, U - одиниця фізичної величини , n - числове значення вимірюваної величини.

Права частина - називається результатом вимірювань і завжди має розмірність одиниці фізичної величини U , а число n показує скільки разів одиниця вимірювання вміщується у вимірюваній величині. Н., $I = 40 \text{ А}$.

У цьому випадку результати вимірювань називають іменованими. Неіменовані результати вимірювань надаються у відсотках.

Якщо при вимірюванні величини Q використати іншу одиницю, наприклад, U_1 , то рівняння (1.1) приймає вид: $Q = n_1 * U_1$. Розв'язуючи обидва рівняння спільно одержимо: $n * U = n_1 * U_1$, або $n_1 = n(U / U_1)$. Тобто, для переходу від результату вимірювання " n " в одиницях U до результату " n_1 ", вираженого в одиницях U_1 , необхідно " n " помножити на співвідношення прийнятих одиниць.

Необхідно чітко розрізнити два поняття: істинні значення ФВ та їхні емпіричні прояви - **результати вимірювань**.

Істинними $Q_{ист}$ - є значення фізичних величин, які ідеально відбивають (відображають) властивості об'єкта як у якісному, так і в кількісному відношеннях.

Вони не залежать від способу нашого пізнання і являють собою абсолютну істину, до якої ми прагнемо, бажаючи виразити їхніми числовими значеннями.

На практиці це абстрактне поняття замінюють поняттям **дійсного значення (Qдійс) вимірюваної ФВ**, під яким розуміється її значення, знайдене експериментально і настільки близьке до істинного, що для даної мети може використовуватися замість нього. За дійсні беруть значення які: розраховані за формулами, одержані за показами еталонів та більш точних засобів вимірювання.

Результати вимірювань (далі РВ) - це продукт нашого пізнання і вони становлять приблизну оцінку значення ФВ. РВ завжди залежать від використаного принципу чи методу вимірювань, а також від стану та класу точності засобу вимірювань, за допомогою якого їх здобувають, і від кваліфікації обслуговуючого персоналу.

Єдність вимірювань - це стан вимірювань, коли результати вимірювань виражені в законодавчо прийнятих одиницях, а похибки вимірювань прийняті із заданою ймовірністю. Єдність вимірювань необхідна для порівняння результатів вимірювань фізичної величини, проведених у різних місцях, у різний час та з використанням різних методів і засобів вимірювання. Тобто, результати вимірювань ФВ повинні бути однаковими скрізь і не залежати від методу та засобу, яким було проведене вимірювання. Так, наприклад, маса в 1 кг чи довжина в 1 м повинні бути адекватними в різних

Усі вимірювані ФВ можна розділити на дві групи:

Першу групу - утворюють ФВ, що вимірюються безпосередньо. Вимірювання таких ФВ відбуваються без перетворення їхнього роду і вони в процесі вимірювання порівнюються з однорідною мірою, що відтворює необхідний розмір. Наприклад, вимірювання довжини об'єкта метром.

Другу - утворюють ФВ, що перетворюються із заданою точністю в безпосередньо вимірювані. ФВ, що перетворюються, не можуть вимірюватись у відповідних їм одиницях безпосередньо. До таких ФВ відносяться, наприклад, температура та густина. У цьому випадку значення вимірюваної ФВ знаходять після перетворення її роду або за відомою залежністю між нею та ФВ, що вимірюється безпосередньо і яка однозначно зв'язана з першою величиною, але зручніша для вимірювання. Такі перетворення здійснюються за допомогою операції вимірювального перетворення. Наприклад, вимірювання температури за допомогою термометра опору шляхом визначення його електричного опору або використання у вимірювальній техніці перетворювачів, коли вимірюється значення сигналу, а не значення вимірюваної величини.

Засіб вимірювання (далі ЗВ) - це сукупність спеціальних технічних засобів, яка використовується для визначення розміру ФВ при її вимірюванні і яка має нормовані метрологічні характеристики та проградуєрована в одиницях вимірюваної величини.

ПОНЯТТЯ СИСТЕМИ ФВ ТА ЇХНІХ ОДИНИЦЬ

Опис властивостей, які характеризують певну ФВ, здійснюється в певній **системі фізичних величин**, під якою розуміється сукупність ФВ, утворених у відповідності із прийнятими принципами, коли одні ФВ приймаються за незалежні, а інші є функціями основних.

Обґрунтовано, але в загальному довільно, вибирається декілька ФВ у системі за основні, а інші називаються похідними і визначаються через основні на базі

відомих рівнянь зв'язку між ними. Прикладами основних ФВ є довжина, маса, час, а похідною є густина речовини, що визначається як маса речовини, що знаходиться в одиниці об'єму.

Відповідно кожна система ФВ має основні одиниці ФВ, які використовуються в ній для відтворення розміру основних ФВ, та похідні.

Похідна одиниця – це одиниця похідної ФВ системи, яка утворена у відповідності з рівнянням, яке зв'язує її з основними одиницями, або з основними одиницями та вже визначеними похідними одиницями. Наприклад, одиниця швидкості – є похідною і дорівнює – м/с.

У назвах систем ФВ використовують символи величин, які прийняті за основні. Діюча в теперішній час міжнародна система ФВ СІ (SI) повинна зображуватись символами LMTIQNJ, відповідно до символів її основних величин: довжині (L), масі (M), часу (T), силі електричного струму (I), температурі (Q), кількості речовини (N) та силі світла (J).

В Україні в якості основної системи ФВ використовується міжнародна і відповідно використовується міжнародна система одиниць СІ, у якій як одиниці основних ФВ прийняті: метр (м), кілограм (кг), секунда (с), ампер (А), одиниця термодинамічної температури Кельвін (К), моль – одиниця кількості речовини та кандела (кд) - одиниця сили світла.

Лекція №2

**Тема: Основні характеристики якості проведених вимірювань.
Класифікація вимірювань**

Мета: оволодіти знаннями про основні характеристики якості проведених вимірювань, вивчити класифікацію вимірювань

Методи: словесний, практичний, наочний

План:

- 1 Якість вимірювань
- 2 Класифікація вимірювань
- 3 Основні метрологічні характеристики ЗВ

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки, слайди

Література:

- 1 Є.С. Поліщук Метрологія та вимірювальна техніка Львів Видавництво «Бескид Біт» 2003р 544с.
2. В.В. Кухарчук Метрологія та вимірювальна техніка Вінниця УНІВЕРСУМ 2004 -252с.
- 3 Е.М. Душин Основы метрологии и электрические измерения Л.; Энергоатомиздат, 1987-480с.
- 4 С.А. Спектор Электрические измерения физических величин Л.; Энергоатомиздат, 1987 -320с

ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЯКОСТІ ПРОВЕДЕНИХ ВИМІРЮВАНЬ

Якість вимірювань характеризується : точністю, достовірністю, правильністю, збіжністю, відтворенням та розміром допустимих похибок.

Точність вимірювань – це характеристика якості вимірювань, що відображує близькість до нуля похибки його результату, або означає максимальну наближеність результату до істинного значення вимірюваної величини.

Достовірність вимірювань – визначається ступенем довіри до результатів вимірювань і характеризується ймовірністю того, що істинні значення вимірюваної величини знаходяться у вказаних межах. Така ймовірність називається довірчою.

Правильність вимірювань – це характеристика вимірювань, що відображає близькість до нуля систематичної похибки результатів вимірювання.

Збіжність результатів вимірювання – це характеристика якості вимірювань, що відображає близькість один до одного результатів вимірювання однієї й тієї ж фізичної величини, виконаних повторно одним і тим же методом та ЗВ, в одних і тих же умовах.

Відтворення результатів вимірювання – це характеристика якості вимірювань, що відображає близькість один до одного результатів вимірювання однієї й тієї ж фізичної величини, виконаних у різних місцях, різними методами та ЗВ, але в одних і тих же умовах.

Похибка вимірювань – це відхилення Δ результату вимірювання $X_{ВИМ}$ від істинного значення $Q_{ІСТ}$, яке визначається за формулою: $\Delta = X_{ВИМ} - Q_{ІСТ}$. (1.2)

Така похибка називається абсолютною і описує кількісну близькість вимірюваного значення ФВ до істинного (дійсного) її значення.

КЛАСИФІКАЦІЯ ВИМІРЮВАНЬ

Вимірювання класифікують за такими ознаками: 1) за характером зміни вимірюваної величини в часі, 2) за способом одержання результатів вимірювання, 3) за точністю вимірювання.

За характером зміни вимірюваної величини в часі вимірювання розділяють на статичні та динамічні.

Статичні вимірювання – це вимірювання, при яких протягом певного проміжку часу вимірювана величина майже не змінюється, або ж її величина змінюється поступово відповідно до процесу виробництва. Такі вимірювання характеризують стаціонарність в об'єкті, застосовуються в пасивних експериментах для встановлення взаємозв'язку між фізичними величинами одного і того самого об'єкта дослідження. Їх також використовують при зніманні статичної характеристики перетворення засобу вимірювань. Вони забезпечують задовільний рівень точності за певний проміжок часу (н., годину, зміну).

Динамічні вимірювання - показують зміну вимірюваної величини в часі при різних збуреннях, що впливають на об'єкт або ж на засіб вимірювання. Вони дають змогу вивчити динамічні властивості об'єкта, його інерційність, а також динамічні властивості самого засобу вимірювання та його складових частин.

Для визначення динамічної характеристики ЗВ на його вхід подають стрибкоподібний сигнал **Хдійсн**. Як видно із графіку показання приладу **Хдин** досягають сталого значення **Хдійсн** лише через певний час і наближаються до нього поступово по експоненціального закону. Різниця між показаннями приладу **Хдин** і дійсним значенням **Хдійсн** вимірюваної величини називається динамічною похибкою:

$$\Delta d = X_{\text{дійсн}} - X_{\text{дин.}} \quad (1.3)$$

Спочатку, не дивлячись на стрибкоподібну зміну вимірюваної величини $X_{\text{дійсн}}$ на вході приладу, сигнал на його виході $X_{\text{дин}}$ почне змінюватись через певний проміжок часу, який називається - час початку реагування $T_{\text{пр}}$.

Далі, сигнал $X_{\text{дин}}$ досягне величини 95% свого максимального значення $X_{\text{дійсн}}$ через проміжок часу перехідного процесу $T_{\text{пп}}$.

Постійна часу T - час, на протязі якого значення вимірюваної величини досягає $\approx 0,632$ від сталого її значення.

Час установлення повного значення вимірюваної величини $T_{\text{пз}}$ - час, протягом якого значення вимірюваної величини досягне свого сталого значення від початку зміни вхідної величини на вході приладу, а динамічна похибка не досягне нуля.

За способом одержання числового значення вимірюваної величини вимірювання розділяють на два види: прямі та непрямі.

Прямими називаються вимірювання, за якими значення вимірюваної **ФВ** знаходять без перетворення її роду і це значення визначається безпосередньо за експериментальними даними. При прямих вимірюваннях вимірювану **ФВ** визначають або порівнянням її розміру з розміром, що відтворюється мірою (наприклад, вимірювання довжини стола метром), або у вигляді показу **ЗВ**, що завчасно проградуєований в одиницях вимірюваної **ФВ**. При здійсненні прямих вимірювань, об'єкт дослідження приводять до взаємодії зі **ЗВ** і по показам останнього відраховують значення вимірюваної величини. До прямих належить більшість вимірювань, які використовуються у виробництві, а також вони є основою інших, більш складних, вимірювань.

Непрямими - є вимірювання, за якими значення вимірюваної **ФВ** величини визначається після перетворення її роду або визначається шляхом її обчислення за відомою залежністю між цією **ФВ** та іншими **ФВ**, які вимірюють прямо і з якими вона зв'язана відомими математичними (функціональними) залежностями. Будь-яке непряме вимірювання зв'язане з низкою прямих вимірювань.

Непрямі вимірювання в свою чергу ділять на: опосередковані, сукупні та сумісні.

Опосередковані - це вимірювання, за яких значення вимірюваної **ФВ** Q визначається шляхом її обчислення за відомою залежністю між цією **ФВ** та іншими **ФВ** - аргументами (Y, Z, G, \dots), які вимірюють прямо і з якими вона зв'язана відомими математичними залежностями. Опосередковані вимірювання найбільш розповсюджені серед непрямих вимірювань.

Функціональну залежність результату Q від аргументів Y, Z, G, \dots , загального виду: $Q = F(Y, Z, G, \dots)$, називають **формулою (рівнянням) зв'язку**. Приклади опосередкованих вимірювань: визначення об'єму V рідини у циліндричній посудині за висотою h та площею S : $V = S * h$; та густини ρ за масою m та її об'ємом V : $\rho = m / V$; вимірювання температури за допомогою термоперетворювача опору.

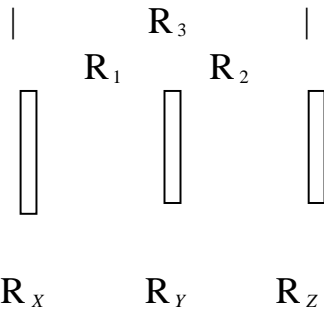
До опосередкованих відносяться тільки такі вимірювання, при яких розрахунок шуканої величини виконується вручну або автоматично, але тільки після отримання окремих результатів прямих вимірювань величин - аргументів.

У сучасних мікропроцесорних **ЗВ** часто обчислення шуканої вимірюваної величини виконується «в середині» **ЗВ** і результат отримують способом, характерним для прямих вимірювань. У таких **ЗВ** немає необхідності окремого

врахування методичної похибки розрахунку, так як вона входить у самого ЗВ. Вимірювання, що проведені такими ЗВ, теж відносяться до прямих вимірювань.

Сукупними називаються вимірювання, що складаються з ряду (сукупності) прямих одночасних вимірювань однієї чи декількох величин - аргументів, виконаних при різних умовах, або при різній їх комбінації. При цьому числове значення вимірюваної величини отримують шляхом вирішення системи рівнянь.

Наприклад, вимірювання електричного опору заземлення. Пряме вимірювання такого опору неможливе, тому проводять прямі вимірювання попарно трьох заземлень: одного основного R_x та двох допоміжних R_y, R_z .



Фактично вимірюють прямо опори:

$$R_1 = R_x + R_y; \quad R_2 = R_y + R_z; \quad R_3 = R_x + R_z.$$

Розв'язуючи отриману систему рівнянь відносно R_x , знаходять його значення, а якщо необхідно і значення допоміжних заземлень.

Сумісні вимірювання - це одночасне вимірювання двох або декількох різноіменних величин із метою знаходження залежності між ними.

Як приклад, визначення температурних коефіцієнтів лінійного розширення опору провідника із платини від температури за рівнянням: $R_t = R_0 (1 + aT + bT^2)$. Для вирішення задачі проводять попарні вимірювання різноіменних величин (опору провідника і температури), складають систему рівнянь і після її вирішення одержують чисельні значення коефіцієнтів «а» та «b».

Сумісні вимірювання дістають широке розповсюдження при вимірюваннях якісних показників харчових продуктів, які є багатоконпонентними сумішами. Наприклад, одночасно можуть вимірюватись густина, в'язкість, показник рН і інші, які в комплексі дають показник якості продукту.

За точністю вимірювання поділяють на 3 групи:

1. Еталонні – це вимірювання з максимально можливою точністю відповідно до наявного технічного рівня. Це вимірювання за допомогою еталонів і спрямовані на відтворення встановлених одиниць фізичних величин або констант.

2. Контрольно-повірочні вимірювання, похибки яких не перевищують деяких наперед заданих значень. Це лабораторні вимірювання фізичних величин за допомогою зразкових і технічних засобів високих класів точності, н., у метрологічних лабораторіях ДСУ.

3. Технічні (технологічні) вимірювання - які проводяться в промисловості і визначаються класом точності використаного засобу вимірювань.

ОСНОВНІ МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗВ

До основних метрологічних характеристик ЗВ, які визначаються при проведенні метрологічних досліджень (метрологічна атестація або повірка), відносяться: 1) похибка вимірювань; 2) характеристика перетворення; 3) діапазон

вимірювання; 4) варіація; 5) чутливість та поріг чутливості; 6) клас точності; 7) швидкодія.

До загальних метрологічних характеристик засобів вимірювання відносяться також їхні: 8) точність; 9) правильність; 10) збіжність; 11) стабільність.

Завдяки цим метрологічним характеристикам оцінюється технічний рівень та якість засобів вимірювання. Вони також дозволяють оцінити наперед очікувані результати вимірювань вибраним ЗВ.

Похибка вимірювань ЗВ – це відхилення результату вимірювання фізичної величини даним ЗВ від її істинного значення.

Характеристика перетворення ЗВ - відтворює функціональну залежність між вхідною вимірюваною величиною та вихідним сигналом ЗВ.

Діапазон вимірювання - це інтервал вимірюваної величини, у межах якого похибки ЗВ нормовані.

Варіація ЗВ - це найбільша різниця між двома показами ЗВ, коли одне і теж саме значення вимірюваної величини досягається внаслідок її збільшення та зменшення.

Чутливість ЗВ (S) - це відношення зміни вихідної величини ЗВ до зміни вхідної вимірюваної, яка спричинила цю зміну:

$$S = \Delta L / \Delta X \text{ або } S = \Delta \varphi / \Delta X,$$

де ΔL та $\Delta \varphi$ зміни відповідних лінійної чи кутової вихідної величини ЗВ у мм, поділках та градусах повороту, а ΔX – зміна вхідної вимірюваної величини у відповідних одиницях.

Чутливість – це іменована величина з різними видами одиниць, які залежать від природи вхідної вимірюваної величини й вихідної ЗВ.

Наприклад, для реостатного перетворювача (реохорда) – це Ом/мм; для термопари – мВ/К; для двигуна – об/с*В.

Якщо ЗВ складається з ланцюга перетворювачів, то його чутливість дорівнює добутку чутливості усіх перетворювачів у ланцюгу.

Поріг чутливості ЗВ - це найменше значення вимірюваної величини, яке може бути виявлене ЗВ.

Клас точності ЗВ - визначає гарантовані межі значень основної та додаткових похибок ЗВ.

Швидкодія - показує час реагування ЗВ на зміну вхідної вимірюваної величини.

Точність ЗВ -- показує на близькість до нуля похибки ЗВ.

Правильність ЗВ - показує на близькість до нуля систематичної похибки ЗВ.

Збіжність ЗВ - це близькість результатів вимірювання однієї і тієї ж величини ЗВ у однакових умовах.

Стабільність ЗВ - показує незмінність у часі його метрологічних характеристик.

Лекція №3

Тема: Метрологічне забезпечення та повірка ЗВ

Мета: оволодіти знаннями про метрологічне забезпечення та повірку ЗВ

Методи: словесний, практичний, наочний

План:

- 1 Організаційні основи метрологічного забезпечення
- 2 Технічні основи метрологічного забезпечення

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки, слайди

Література:

- 1 Є.С. Поліщук Метрологія та вимірювальна техніка Львів Видавництво «Бескид Біт» 2003р 544с.
2. В.В. Кухарчук Метрологія та вимірювальна техніка Вінниця УНІВЕРСУМ 2004 -252с.
- 3 Е.М. Душин Основы метрологии и электрические измерения Л.; Энергоатомиздат, 1987-480с.
- 4 С.А. Спектор Электрические измерения физических величин Л.; Энергоатомиздат, 1987 -320с

Метрологічне забезпечення та повірка ЗВ

Метрологічне забезпечення вимірювань - це встановлення і застосування метрологічних норм та правил, а також розроблення, виготовлення і застосування технічних засобів, необхідних для досягнення єдності та заданої точності вимірювань. Розрізняють наступні основи метрологічного забезпечення:

Організаційні основи метрологічного забезпечення, куди входять:

1. Метрологічні служби центральних органів виконавчої влади.
2. Метрологічні служби підприємств та організацій.

Технічні основи метрологічного забезпечення, куди входять:

1. Система державних одиниць ФВ.
2. Система - передачі розмірів цих одиниць від еталонів до всіх ЗВ.
3. Система стандартних довідкових даних про фізичні константи, зразки складу та властивостей речовин і матеріалів.
4. Система - розробки, постановки на виробництво та випуск в обіг робочих ЗВ необхідної точності для промисловості.
5. Система обов'язкових державних та відомчих повірок і метрологічної атестації ЗВ.

Результати вимірювань у більшості залежать від ЗВ (їхнього стану та класу точності), а також від кваліфікації обслуговуючого персоналу. Висока точність вимірювань може бути досягнута тільки в такому стані ЗВ, коли вони проградуєвані в прийнятих одиницях, а їхні метрологічні характеристики відповідають нормам. ЗВ повинні бути завчасно відремонтовані, повірені в метрологічних установах, ще й мати належне обслуговування.

Важливою формою державного нагляду за засобами вимірювальної техніки є державна та відомча повірка. **Повірка** – це операція, суть якої полягає в установленні придатності ЗВ до використання вже виготовленого ЗВ, на основі проведення досліджень по визначенні його метрологічних характеристик і їхній відповідності нормам.

Повірку ЗВ проводять органи державної метрологічної служби, які атестовані на право її проведення, а також організації та відомства, яким це право надано в установленому порядку.

Повірку проводять у відповідності з нормативно-технічною документацією (НТД) по повірці, яка розробляється у відповідності зі стандартами метрології.

У відповідності з держстандартом ЗВ підлягають:

- **первинній повірці**, яка проводиться після виготовлення ЗВ, або після його ремонту;
- **періодичній повірці**, що проводиться при експлуатації або зберіганні ЗВ через певні інтервали між повірками, які встановлені розрахунками забезпечення метрологічної відповідності ЗВ на період між повірками;
- **позачергова повірка**, що проводиться при експлуатації або зберіганні ЗВ, якщо необхідно впевнитись в придатності до використання ЗВ;
- **інспекційна повірка**, що проводиться для виявлення придатності ЗВ до використання органами держнагляду або відомчого контролю, при виконанні ними своїх службових обов'язків по контролю за станом та використанням ЗВ;
- **експертна повірка**, що проводиться при виникненні сумнівних питань по метрологічним характеристикам ЗВ та можливості його використання.

Позитивні результати повірки закріплюються повірочним тавро, або ж виданням свідоцтва про повірку, чи метрологічну атестацію.

Ще одною формою державного нагляду за ЗВ - є **держані випробовування**, що виконуються державною метрологічною службою для дослідження зразків або партій ЗВ, які призначені для серійного виробництва, на їхню відповідність вимогам НТД.

Головна мета держвипробовувань – забезпечення високого технічного рівня приладобудування, відповідність технічних та метрологічних характеристик ЗВ вимогам народного господарства та світовому ринку.

У відповідності із Законом «Про метрологію і метрологічну діяльність» держвипробовування ділять на приймальні та контрольні.

Приймальні держвипробовування – мають на меті визначення, по метрологічним характеристикам ЗВ, доцільність їхнього виготовлення серійно або по поставок із-за кордону, з подальшим затвердженням їх типів.

Державні контрольні випробовування проводяться для серійно виготовлених ЗВ, з метою підтвердження їхньої відповідності встановленим вимогам та метрологічним нормам, доцільності подальшого виготовлення.

Лекція №4

Тема: Загальні положення та температурні шкали

Мета: оволодіти знаннями про вимірювання температури та температурні шкали

Методи: словесний, практичний, наочний

План:

- 1 Загальні положення про вимірювання температури
- 2 Температурні шкали
- 3 Термометри розширення

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки, слайди

Література:

- 1 Є.С. Поліщук Метрологія та вимірювальна техніка Львів Видавництво «Бескид Біт» 2003р 544с.
2. В.В. Кухарчук Метрологія та вимірювальна техніка Вінниця УНІВЕРСУМ 2004 -252с.
- 3 Е.М. Душин Основы метрологии и электрические измерения Л.; Энергоатомиздат, 1987-480с.
- 4 С.А. Спектор Электрические измерения физических величин Л.; Энергоатомиздат, 1987 -320с

Загальні положення та температурні шкали

Температура – один із важких технологічних параметрів, який характеризує практично всі технологічні процеси в харчовій промисловості і призначені як для виготовлення готового (кінцевого продукту так і напівфабрикату). До них відноситься: нагрів, випічка, сушка, випарки, розварювання, охолодження та ін. Межі вимірювання температури складають від -90 до $+1200^{\circ}\text{C}$ і вище.

Температура відноситься до таких фізичних величин, які не піддаються безпосередньому (прямому) вимірюванню. Тому температуру завжди перетворюють в іншу фізичну величину, яка зв'язана з температурою відомою залежністю.

Для вимірювання температури використовується декілька шкал.

За стандартом передбачено використання двох температурних шкал: термодинамічної температурної шкали (ТТШ), як основної, та міжнародної практичної температурної шкали (МПТШ).

Принцип застосування **термодинамічної температурної шкали** ґрунтується на другому законі термодинаміки: температура тіла пропорційна кількості тепла, яке в ньому знаходиться. Температура, виміряна за цією шкалою, позначається літерою T , а за одиницю прийнятий Кельвін (К).

За повної відсутності тепла в тілі, його температура $T=0$, що відповідає початковій точці термодинамічної температурної шкали (ТТШ) і називається абсолютним нулем. Кожна шкала температури має реперні точки. Реперна точка шкали – це значення температури на шкалі, яке відповідає певному стану абсолютно чистої речовини, або суміші речовин, при цій температурі.

Основною реперною точкою для ТТШ є потрійна точка води, яка відповідає $273,16$ К. **Потрійна точка води** – є точкою рівноваги води в твердій (льод), рідкій та газоподібній (пара) фазах і може бути відтворена в спеціальних посудинах з похибкою не більше $\pm 0,0002^{\circ}\text{C}$.

Одиницею термодинамічної температури є Кельвін, який визначається як $1/273,16$ частина температури потрійної точки води.

Для вимірювання по термодинамічній шкалі використовуються спеціальні газові термометри. Це досить точні прилади, але їх використання поки що пов'язане з труднощами, до яких відноситься: по-перше, складність у використуванні (поки що), та, по-друге, те, що в звичному нам діапазоні температур від $0\dots 100^{\circ}\text{C}$, шкала цього термометра дуже вузька, так як він вимірює температуру від 0 К (-273°C) і цей нуль практично нами не використовується). Тому, для **широкого кола вимірювань** використовується **стоградусна шкала Цельсія** (1742 р.), або її розвиток **міжнародна практична температурна шкала (МПТШ)** (розрізняють МПТШ 68 та МПТШ МТШ 90).

В якості реперних точок по шкалам МПТШ вибрані:

1) точка таяння льоду, яка може бути відтворена з похибкою в межах $0,0002\div 0,01^{\circ}\text{C}$ і складає 0°C або $277,15$ К;

2) точка кипіння води, яка приймається як 100°C і відтворюється з похибкою $\pm(0,002\div 0,01)^{\circ}\text{C}$, та відповідає стану рівноваги між водою і водяною парою.

Температура в градусах Цельсія t визначається як $t(^{\circ}\text{C})=T(\text{K})-273,15$. Одиницею температури в цьому випадку є градус Цельсія, який дорівнює по розмірності градусу Кельвіна.

На практиці використовуються і англо-американські температурні шкали:

Шкала Фаренгейта (°F): 0°F – температура суміші льоду та нашатирного спирту; 96°F – температура людського тіла, 32 °F - точка танення льоду; а точці кипіння води відповідає 212°F. Градус °F = 1/180 частину різниці (212-32)°F.

Співвідношення між шкалами МПТШ та Фаренгейта:

$$t(^{\circ}\text{F}) = (9/5) * t(^{\circ}\text{C}) + 32 \quad \text{та} \quad t(^{\circ}\text{C}) = 5/9[t(^{\circ}\text{F}) - 32].$$

Шкала Реомюра °R: 0 °R – точка танення льоду, 80 °R – точка кипіння води. °R – це 1/80 частина цього інтервалу. $1^{\circ}\text{R} = 1,25^{\circ}\text{C}$.

Між термодинамічними шкалами ТТШ та МПТШ 68 (практичною) існує різниця. Обидві шкали збігаються в реперних точках, проте в інтервалах, де відбувається інтерполяція, між ними є розбіжність, яка залежить від температури (розбіжність не перевищує 0,04°C в діапазоні (-190...+120)°C, і досягає 0,5 °C при температурах 800 °C).

МПТШ 68 встановлена для температур від 13,81 до 6300 К. Переведення значення температури у °C в К виконується за рівнянням: $T(\text{K}) = t(^{\circ}\text{C}) + 273,15$.

Введення нової МПТШ-90 розширило дію МПТШ-90 в нижньому діапазоні від 0,65 К, та ще більше приблизило її до ТТШ при температурах вище 0°C за рахунок введення додаткових реперних точок (точки плавлення гелію, затвердіння індію, алюмінію).

КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

В промисловій термометрії використовується **2 основних методи вимірювання температури:**

- контактний, який реалізується первинним вимірювальним перетворювачем, який знаходиться в безпосередньому контакті з вимірювальним середовищем;
- та безконтактний, який реалізується в пірометрах, а температура визначається по тепловим електромагнітним випромінюванням нагрітих тіл.

У відповідності з основними методами вимірювання температури термометри класифікують наступним чином:

- контактні на:

1) **термометри розширення:** рідинні скляні (діапазон вимірювання від -200 до +600°C) та дилатометричні і біметалеві (від -150 до +700 °C). Принцип їхньої дії базується на зміні об'єму рідини чи лінійних розмірів твердих тіл при зміні температури;

2) **манометричні термометри:** (-200...+1000 °C) – в термометрах використовується зміна тиску газу, рідини чи пари в замкнутому об'ємі при зміні температури;

3) **термометри опору,** які використовують залежність електричного опору провідників та напівпровідників від температури і які поділяються на:

а) металеві (від -260 до +1100 °C) та б) напівпровідникові (-275...+600°C);

4) **термоелектричні термометри** (термопари), які використовуються в діапазоні температур (-200...+2200 °C), а принци дії ґрунтується на зміні термоелектрорушійної сили (ТЕРС) в ланцюгу при нагріванні спаю двох різнорідних металів.

Безконтактні (пірометри) на:

а) квазімонохроматичні (700...10000° C);

б) спектрального відношення (300...2800 °C);

в) повного випромінювання (-50...3500 °С).

Принцип дії пірометрів базується на використуванні яскравості горіння чи сумарного теплового випромінювання при нагріванні тіла.

Вибір того чи іншого методу та ЗВ для вимірювання температури залежить від багатьох факторів, основними із яких є: а) межі випромінювання температури; б) точність випромінювання; в) склад і властивості вимірювального середовища.

ТЕРМОМЕТРИ РОЗШИРЕННЯ

До них відносяться: скляні рідинні, дилатометричні, біметалеві та манометричні термометри.

Рідинні скляні термометри – вимірювання температури ґрунтується на різниці коефіцієнтів об'ємного розширення матеріалу оболонки корпусу термометра та рідини, яка в ньому міститься (розміщена) в залежності від температури.

Корпус термометра виготовляються із спеціальних термометричних сортів скла з малим коефіцієнтом розширення. При вимірюванні високих температур використовують кварц. В якості термометричної рідини використовують: ртуть (Hg), етиловий спирт (C₂H₅OH), толуол (C₆H₅CH₃), пентан (C₅H₁₂) та інші. Найбільш розповсюджені ртутні, їх переваги: діапазон вимірювання (-35...+600 °С), незмочуваність скла ртуттю. За призначенням діляться на: зразкові, лабораторні та технічні. Складаються з резервуара, з рідиною, капілярної трубки, з одного кінця приєднаної до резервуара, а з іншого – запаяної, та шкали і захисної оболонки.

Приріст у капілярній трубці термометра стовпчика рідини Δh (мм) за нагрівання резервуара від температури t_1 до t_2 визначається формулою:

$$\Delta h = \frac{V(\alpha_p - \alpha_c)(t_2 - t_1)}{d} \quad (4.11)$$

де V – об'єм рідини в резервуарі при t_1 ; α_p та α_c - температурні коефіцієнти розширення рідини та скла, K⁻¹; d - внутрішній діаметр капіляра, мм.

Найбільш розповсюджені форми: а) **палочні** – зовнішній діаметр їх сягає 6-8 мм, а шкала нанесена безпосередньо на зовнішній поверхні капілярної трубки; б) з **вкладеною шкалою** – шкала виконується окремо на прямокутній скляній пластині, яка припаюється до капіляра.

Для сигналізації та позиційного регулювання застосовують ртутні електроконтактні термометри з постійними в'язними контактами або одним рухомим контактом, який може переміщуватись в середині капілярної трубки за допомогою спеціального мікрогвинта. Так як ртуть електропровідна, то при досягненні нею в капілярі висоти, на якій установлені електричні контакти, вона спричиняє замикання цих контактів та спрацьовуванні релейної схеми.

За температури нагрівання до 105°С термометри виготовляються вакуумними, а вищої – газонаповненими.

Промисловість випускає:

1) технічні ртутні з вкладеною шкалою (прямі і кутові, зігнуті під 90°) 11 модифікацій. Н., Ціна поділки першої модифікації 0,5 °С шкала від -35...+500 °С; а для 11-ої – відповідно 10 °С. Термометри 9÷11 модифікацій є високо градусними.

2) технічні не ртутні (аналогічні) на межі вимірювань -200...+200 °С з ціною поділки від 0,2 до 5 °С.

3) лабораторні ртутні типу ТЛ на межі від $-30...+500$ °С і мають 5 типів, в залежності від ціни поділки межей вимірювання. Н., ТЛ-2 – ціна поділки 1 °С і діапазон $0...350$ °С.

4) ртутні підвищеної точності та зразкові 4-х типів з вузьким діапазоном вимірювання. Н., ТР-1: діапазон 4 °С і ціна поділки $0,01$ °С, а ТР-4 – діапазон вимірювання 50 °С і ціну поділки $0,1$ °С.

5) ртутні електроконтактні з рухомим (тип ТПК) і постійним (тип ТЭЖ) контактами та діапазоном $-30...+300$ °С.

Допустима похибка технічних термометрів не перевищує поділки шкали. Наприклад, за ціни поділки $0,5$ °С - максимальна похибка становить $\pm 0,5$ °С.

Для деяких термометрів похибка може бути більшою та визначається технічними вимогами до них. Наприклад, для зразкових термометрів з ціною поділки $0,01$ °С, максимальна похибка дорівнює $\pm 0,05$ °С, а для лабораторних з ціною поділки $0,5$ °С допустима похибка становить ± 1 °С. Переваги скляних рідинних термометрів: простота конструкції, невисока вартість, достатня точність. Недоліки: відсутність дистанційної передачі та реєстрації показів, значна теплова інерційність, незручність зняття показів і невисока механічна міцність, що обмежує їх використання в технологічних вимірюваннях.

Лекція №5

Тема: Термометри опору. Термоелектричні термометри

Мета: оволодіти знаннями про термометри опору

Методи: словесний, практичний, наочний

План:

- 1 Призначення та будова термометру опору
- 2 Платинові та мідні термометри опору
- 3 Термоелектричні термометри.
- 4 Мостова схема вимірювання

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки, слайди

Література:

- 1 Є.С. Поліщук Метрологія та вимірювальна техніка Львів Видавництво «Бескид Біт» 2003р 544с.
2. В.В. Кухарчук Метрологія та вимірювальна техніка Вінниця УНІВЕРСУМ 2004 -252с.
- 3 Е.М. Душин Основы метрологии и электрические измерения Л.; Энергоатомиздат, 1987-480с.
- 4 С.А. Спектор Электрические измерения физических величин Л.; Энергоатомиздат, 1987 -320с

ТЕРМОМЕТРИ ОПОРУ

Принцип дії термометрів опору ґрунтується на властивості провідників (металів) та напівпровідників змінювати свій електричний опір R в залежності від зміни їхньої температури t . В загального вигляді: $R = f(t)$.

Така властивість металів характеризується температурним коефіцієнтом α опору (ТКО), який визначається як відношення приросту опору провідника, що виготовлений із цього металу, до приросту температури, що привела до його нагрівання та зміни електричного опору, та опору провідника R . В загальному вигляді ТКО при малих приростах температури визначається

$$\text{залежністю: } \alpha = \frac{dR}{Rdt} \left(\frac{1}{^\circ C} \right).$$

Для провідників (металів) - ТКО додатний і їхній опір зростає з зростанням температури, а перетворювачі, які виготовлені із металевого дроту називають (в загальному) терморезисторами. У напівпровідників навпаки – ТКО від'ємний і їхній опір електричному струму падає із ростом температури, а перетворювачі, що виготовлені із напівпровідникових матеріалів, називають термісторами.

В більшості провідникових і напівпровідникових тіл залежність опору R від температури можна узагальнити формулою:

$$R = C * e^{kT}, \quad (4.1)$$

де C та k – коефіцієнти, значення яких залежить від матеріалу, з якого виготовлений терморезистор; крім цього, C залежить від геометричних розмірів терморезистора, а k для напівпровідників - залежить і від температури; e – основа натуральних логарифмів; T – абсолютна температура, K .

На практиці, як правило, температуру вимірюють за шкалою Цельсія і, використовуючи співвідношення: $T(K) = t(^{\circ}C) + 273.15$, приведена залежність активного опору від температури $t(^{\circ}C)$ приймає вигляд:

$$R = C * e^{k(273.15 + t)} = C * e^{273.15k} * e^{kt}. \quad (4.2)$$

Значення виразу: $C * e^{273.15k} = R_0$ – приймається за початковий опір тіла при температурі $0^{\circ}C$. Відповідно:

$$R = R_0 * e^{kt}. \quad (4.3)$$

Так як для провідникових термометрів коефіцієнт k не залежить від температури, то формулу (3) можна переписати в іншому вигляді, розклавши її в ряд Макларена:

$$\begin{aligned} f(t) &= R_0 * e^{kt} = f(0) + \frac{t}{1!} f'(0) + \frac{t^2}{2!} f''(0) + \frac{t^3}{3!} f'''(0) + \dots = \\ &= R_0 \left(1 + \frac{k}{1!} t + \frac{k^2}{2!} t^2 + \frac{k^3}{3!} t^3 + \dots \right) = R_0 (1 + \alpha t + \beta t^2 + \gamma t^3 + \dots), \quad (4.4) \end{aligned}$$

де $f'(0)$, $f''(0)$, $f'''(0)$, ... – частинні похідні функції e^{kt} .

В ПВП температури може використовуватись будь-який терморезистор, але в якості засобів вимірювання температури з нормованими метрологічними характеристиками (НМХ) використовують термометри опору (ТО). **ТО це терморезистори з НМХ, які виготовлені із чистих металів (міді, платини, нікелю, вольфраму або заліза) і які відповідають наступним вимогам:**

- мають достатньо великий і незмінний в часі ТКО, який прийнято визначати для ТО в інтервалі температур від 0 до $100^{\circ}C$ по залежності:

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{R_0 * 100}, \quad \left[\text{для більшості чистих металів } \alpha \cong 4 * 10^{-3} \left(\frac{1}{^{\circ}\text{C}} \right) \right]$$

де R_0 та R_{100} - опір ТО при 0 та при 100 °С, Ом;

- мають монотонну без гістерезису характеристику перетворення $R = f(t)$;
- мають високий питомий електричний опір, а метал ТО не вступає до взаємодії з вимірюваним середовищем.

Найбільше розпоширені провідникові ТО, які виготовляють із мідного дроту (використовуються для вимірювання температури від -50 до 180 °С) або із платиного – для температур від 0 до 650 °С.

ТО являє собою дріт певної довжини і діаметром $\cong 0,07$ мм, що намотаний на стержень із ізоляційного матеріалу (наприклад, слюди). Чутливі елементи ТО розміщують (рис. 4.2) в корпус (кожух) із нержавіючої сталі, який має різьбове з'єднання для його кріплення до металевих стінок технологічного обладнання та головку, в якій розміщують клеми під'єднання зовнішніх проводів. Для вимірювання температури в системах вентиляції і в приміщеннях, виготовляють спеціальні ТО, оболонка яких перфорується, для швидкого доступу повітря до чутливого елемента.

ТО мають при виготовленні нормоване (стандартизоване) значення R_0 при 0 °С і зображуються як ТСМ для мідного дроту та ТСП – для платиного. Залежність опору ТО від температури називається градуовальною характеристикою. Для мідних ТО ця залежність має вигляд із двох членів формули (4):

$$R_m = R_{0m} * (1 + \alpha * t), \quad (4.5)$$

де $\alpha = 4,26 * 10^{-3} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$.

ТО із міді виготовляються із нормованим значенням опору R_{0m} при 0 °С на 10, 50, та 100 Ом і їм присвоєні умовні позначення: 10М, 50М, 100М.

Для платинових ТО залежність (4) опору від температури визначається трьома членами формули (4) для температур $\geq 0^{\circ}\text{C}$:

$$R_n = R_{0n} * (1 + \alpha * t + \beta * t^2), \quad (4.6)$$

де $\alpha = +3.968 * 10^{-3} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$; $\beta = -5.847 * 10^{-7} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$.

При вимірюванні температур $< 0^{\circ}\text{C}$ – градуовальна характеристика ТСП описується виразом із 4-х членів формули (4).

Платинові ТО теж мають нормовані значення R_{0n} при температурі 0 °С і, по аналогії з мідними, в залежності від R_{0n} мають позначення: 1П, 5П, 10П, 50П, 100П, 500П.

Всі типи ТО виготовляється як взаємозамінні і для цього їхні типи, основні параметри та розміри регламентуються відповідним стандартом. Основними параметрами для забезпечення взаємозамінності ТО є допуски на відхилення їхнього опору при температурі 0 °С (R_0) від номінального значення, що відповідає приведенному ряду, та на коефіцієнт W_{100} , який визначається відношенням: R_{100} / R_0 , тобто, відношенням опору ТО при температурі 100 °С до його опору при 0 °С і який залежить від чистоти дроту, із якого виготовлений ТО. Наприклад, для ТСП 50 - $W_{100} = 1.385$; а для ТСМ 50 – $W_{100} = 1.391$.

Платинові ТО використовуються як зразкові, еталонні та технічні, а мідні – тільки як технічні термометри. ТО із міді випускається 2-го та 3-го класів з абсолютними похибками від $\pm 0.3 \dots 0.5^{\circ}\text{C}$ до $\pm 1 \dots 2^{\circ}\text{C}$.

ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНІ ТЕРМОМЕТРИ

Принцип дії термоелектричних термометрів (термопар) ґрунтується на ефекті виникнення електрорушійної сили (ЕРС) в замкнутому ланцюгу, який складається із різнорідних провідників А і В (рис. 4.12), при умові, що місця їхніх з'єднань мають різну температуру. Ефект був відкритий російським вченим Епінусом та німцем Зеебеком і пояснюється тим, що виникнення ЕРС (або її ще називають контактною різницею потенціалів) пов'язане з вільними електронами в металах, які переміщуються з металу, де їх концентрація більша, в метал, у якого концентрація електронів менша.

Значення цієї ЕРС, яку називають термоелектрорушійною силою (ТЕРС) і зображують як $E(t_x, t_0)$, залежить:

- від матеріалу провідників, що з'єднані;
- від різниці температур місць з'єднань провідників (дротів): t_x – температура робочого (гарячого) спаю, який розміщується в об'єкті, температуру якого вимірюють, та t_0 – температури холодного спаю (вільних кінців), що виведені ззовні з об'єкту і знаходиться в місці з постійною температурою.

Для виготовлення термопар можуть використовуватись будь-які метали, при умові наявності різної концентрації вільних електронів в них, але на практиці використовують матеріали, які забезпечують найбільш можливе значення ТЕРС. Значення такої ТЕРС можна виміряти , наприклад, мілівольтметром постійного струму з достатньою чутливістю, який ввімкнений в розрив проводу В, або в розрив холодного спаю ланцюга. Найбільше розповсюджені наступні типи стандартних термопар (першим в запису вказується електрод з надлишком електронів і який, після їхнього переміщення до другого електроду термопари, має позитивний заряд):

1) **Платинородій** (склад: 10% родію та 90% платини) – **платинові**. Позначення термопари **ТПП**, а її градуовальної характеристики **ПП** (S – міжнародне). Діапазон вимірювання: $-20...+1600^{\circ}\text{C}$. Розділяються на еталонні, зразкові робочі. Надійно працюють в нейтральному та окислюваному середовищі. На платину шкідливо діють пари металів та вуглецю. Є кращими за комплексною оцінкою до 1600°C . Виготовляються із проводу діаметром 0,5...1мм. Розвивають ТЕРС – 0,1...13,13мВ.

2) **Платинородій** (30% родію) – **платинородієві** (6% родію). Позначення: **ТПР**, а градуовальних характеристик **ПР(В)**. Діапазон вимірювання: до $600 - 1800^{\circ}\text{C}$. Не потребують введення поправки на температуру холодних спаїв, так як при $t=20^{\circ}\text{C}$ мають мале значення ТЕРС 0,002мВ.

3) **Хромель – алюмелеві**. Хромель - сплав хрому та нікелю (8÷10 % Cr, а залишок - Ni). Алюмель – сплав нікелю (основа $\cong 94\%$) та алюмінію, марганцю, кремнію в сумі $\approx 6\%$. Відповідно позначення термопари: **ТХА, ХА(К)**. Діапазон вимірювання: $-50 \div +1000^{\circ}\text{C}$. Розвивають ТЕРС – 1,86 ÷ до 41,32 мВ.

4) **Хромель – копелеві**. Копель – сплав міді (Cu є основа – 56%) та Ni (43%) + Mn (0,5% - марганцю). Позначення термопари та градуовальної характеристики: **ТХК, ХК** (Е). Діапазон вимірювання: $-200^{\circ}\text{C} \div +600^{\circ}\text{C}$ та розвивають найбільшу ТЕРС – 7мВ на кожні 100°C .

5) **вольфрамреній** (5% - Re) – **вольфрамренієві** (26% - Re). Позначення термопари та градуовальної характеристики: **ТВР** (С), **ВР -5/20**. Діапазон вимірювання: $0^{\circ}\text{C}...+2300^{\circ}\text{C}$.

- 6) **Залізо-констатанові.** Константан - сплав Cu та Ni. Позначення термопар та градуувальної характеристики **I**. Діапазон вимірювання: $-210 \div +1200^{\circ}\text{C}$. Абсолютна похибка Δt вимірювання складає не більше $\pm 2,2^{\circ}\text{C}$.
- 7) **Мідь-констатанові.** Позначення термопар та градуувальної характеристики **T**. Діапазон вимірювання: $-270 \div +400^{\circ}\text{C}$. Абсолютна похибка Δt вимірювання складає не більше $\Delta t = \pm 1^{\circ}\text{C}$.

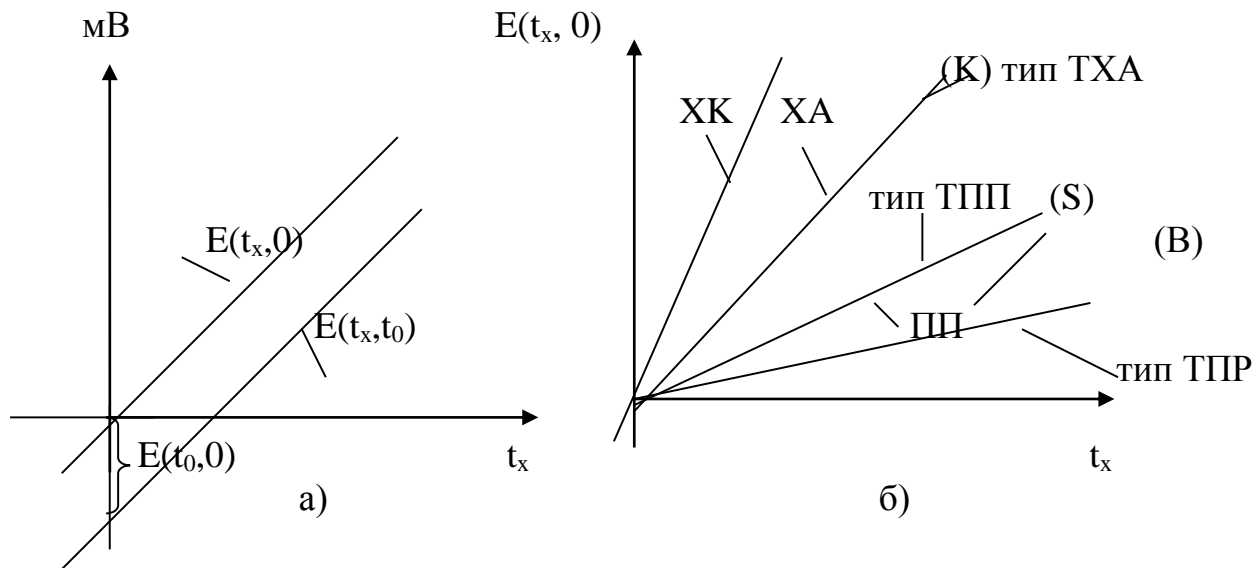


Рис.3.13. Загальний вигляд характеристик перетворення термопар.

Висока точність вимірювання температури за допомогою термопар буде забезпечена, тільки при достатньо точній фіксації температури t_0 холодного спаю в посудині Дьюара з льодом, який ($t_0 = 0^{\circ}\text{C}$) та є, або розміщують в термостат автоматично стабілізуючою температурою. Якщо температура вільних кінців термометра $= 0^{\circ}\text{C}$, то вимірювана температура визначається безпосередньо із градуувальної характеристики.

Градуувальні характеристики термопар стандартизовані. Вони є статичними характеристиками перетворення і показують залежність ТЕРС термопар від температури робочих кінців (робочого спаю) при температурі холодного спаю, що дорівнює 0°C . Градуувальні характеристики є індивідуальними для кожного типу термопар і їхній загальний вигляд для основних типів термопар приведений на рис. 3.13,б. Якщо температура вільних кінців $t_0 \neq 0$ (рис. 3.13,а), то для отримання значення ТЕРС $E(t_x, 0)$ необхідно до $E(t_x, t_0)$, тобто, ТЕРС, що розвиває термопара, додати значення ТЕРС $E(t_0, 0)$, яке розвиває термопара при значенні температури гарячого спаю t_0 та значенні температури холодного спаю $= 0^{\circ}\text{C}$:

$$E(t_x, 0) = E(t_x, t_0) + E(t_0, 0). \quad (4.18)$$

При відхиленні температури холодного спаю від 0 в сторону збільшення, до значення t_0 , ТЕРС, що розвиває термопару, зменшується із-за збільшення температури (холодного спаю) вільних кінців до t_0 .

В простих випадках використовується, так зване, пряме ввімкнення термопар, коли в комплекті з термопарою (в якості вторинного приладу, що вимірює ТЕРС) використовується мілівольтметр (електровимірювальний прилад магнітоелектричної системи), шкала якого градуується в 0°C при температурі холодного спаю, як правило, що дорівнює 0°C . Якщо в умовах використання ця температура інша, то в покази приладу необхідно вводити

поправки (проводити інтерполяцію), тому що в іншому випадку такі вимірювання будуть супроводжуватися великими похибками. Різні термопари розвивають різні ТЕРС при однакових температурах як гарячого спаю, так і холодного.

Існують декілька методів вирахування поправок і усунення похибок.

Один із методів є розрахунковий і його формула в загальному має вигляд:

$$t_{icm} = t_{np} + K_{TP}(t_0 - t_0^0), \quad (4.19)$$

де t_{icm} - істинна температура; t_{np} - температура, яку показує приклад; K_{TP} - коефіцієнт інтерполяції, який залежить від типу термопари та інтервалу вимірювальної температури; t_0 та t_0^0 - температура холодного спаю при градуванні та при реальних вимірюваннях.

Ефективним методом усунення похибки від впливу зміни температури холодного спаю є використання компенсаційних дротів, які входять в комплект термопари, і які служать для відведення холодного спаю на певну відстань, де можливе його розташування в зоні постійної температури. Компенсаційні дроти виробляються в більшості із тих же металів, що і електроди.

Лекція №6

Тема: Цифрові вимірювачі температури

Мета: оволодіти знаннями про цифрові вимірювачі температури

Методи: словесний, практичний, наочний

План:

- 1 Загальні відомості цифрові вимірювачі температури
- 2 Структурна схема вимірювача температури
- 3 Метрологічні характеристики цифрові вимірювачі температури

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки, слайди

Література:

- 1 Є.С. Поліщук Метрологія та вимірювальна техніка Львів Видавництво «Бескид Біт» 2003р 544с.
2. В.В. Кухарчук Метрологія та вимірювальна техніка Вінниця УНІВЕРСУМ 2004 -252с.

Вимірювальний перетворювач температури SITRANS TF2.

Конфігуруємий SITRANS TF2 (рис.4.4) - це компактний вимірювальний перетворювач температури з цифровим дисплеєм та термометром опору Pt100. Призначення приладу - індикація та контроль температури, що вимірюється на технологічній лінії за місцем, а також дистанційна передача сигналу вимірювальної інформації на відстань.

■ Загальний огляд та основні технічні характеристики TF2:

Вимірювальний перетворювач температури SITRANS TF2 об'єднує три компоненти в одному приладі:

- термометр опору Pt100 в захистній трубці із нержавіючої сталі;
- корпус із нержавіючої сталі з високим класом захисту;
- вбудований та конфігуруємий за допомогою трьох кнопок мікропроцесорний вимірювальний перетворювач з рідинно-кристалевим дисплеєм (РКД).

Вхід: вимірювана величина – температура в діапазоні від $-50...+200^{\circ}\text{C}$.

Вихід: уніфікований сигнал $4...20\text{ mA}$ по дротам живлення.

Абсолютна похибка при температурі навколишнього середовища в межах $(23 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ складає: $< \pm(0,45^{\circ}\text{C} + 0,2\%$ від верхньої межі налаштованого діапазону.

Час одного циклу вимірювання $\leq 100\text{ ms}$.

■ Переваги та конструкція приладу SITRANS TF2:

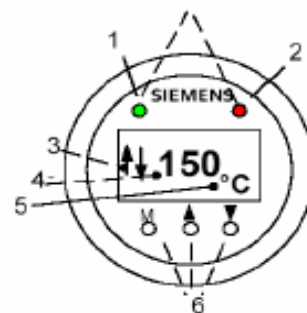
- висока точність вимірювання та індикація з дозволяючою властивістю $1/100^{\circ}\text{C}$ в усьому діапазоні вимірювання;
- конфігуруємі діапазони вимірювання в межах від -50 до $+200^{\circ}\text{C}$;
- сигналізація (\pm) про перевищення заданного межового значення температури на РКД, а також за допомогою червоного світлодіоду (рис.4.5).

Корпус SITRANS TF2 виготовлений із інструментальної сталі ($\varnothing 80\text{ mm}$) та оснащений захисним склом. В захисну трубу із інструментальної сталі з різьбовим з'єднанням вмонтований і температурний датчик **Pt100**. За рахунок використання інструментальної сталі при виготовленні захисних труб досягається висока хімічна стійкість, яка визначає високу степінь захисту температурного датчика від впливу вимірюваного за температурою середовища. У стандартному виконанні довжина захисної труби складає 170 (260) мм.

На зворотній стороні корпусу розміщені клеми для підключення живлення за рахунок струмового ланцюга (петлі) $4...20\text{ mA}$.



Рис. 4.4. Загальний вигляд SITRANS TF2.



- 1 Зелений світлодіод
- 2 Красний світлодіод
- 3 Жидкокристаллический индикатор: выход за верхнее / нижнее предельное значение
- 4 Жидкокристаллический индикатор: отображаемое значение
- 5 Жидкокристаллический индикатор: единица измерения
- 6 Кнопки управления

Рис. 4.5

На передній стороні корпуса знаходиться п'ятирозрядний дисплей под скляною кришкою. Під дисплеєм (рис.4.5) розташовані три клавіші конфігурування SITRANS TF2. Над дисплеєм розташовані один зелений та один червоний світлодіоди для індикації стану приладу.

Первинний вимірювальний перетворювач Pt100 (рис.4.6), що знаходиться в об'єкті, отримує живлення від стабілізованого джерела струму I_k . Спад напруги на датчику Pt100 відповідає вимірюваній температурі. Аналого-цифровий перетворювач (A/D) перетворює спад напруги у цифровий сигнал. В мікроконтролері (μC) цифровий сигнал лінеаризується і відтворюється у числовій формі у відповідності з необхідними даними (наприклад, вибраною одиницею вимірювання або необхідному діапазону), що запрограмовані заздалегідь та зберігаються в постійній перепрограмуємій пам'яті EEPROM.

Вимірювальний перетворювач TF2 можна розділити на наступні функціональні блоки і окремі функції (рис. 4.6):

Вхід: *RTD* – термометр опору Pt100; I_k – стабілізоване джерело струму; *A/D* – аналого-цифровий перетворювач.

Вихід:

D/A – цифро-аналогови перетворювач (ЦАП); *U/I* – перетворювач напруги в струм, який живиться від стабілізованого джерела напруги та перетворює напругу ЦАП в уніфікований вихідний сигнал по струму (4...20 мА);

EMV – вихідний каскад з захисними компонентами, який об'єднує струм живлення з уніфікованим вихідним сигналом по струму;

U_H – джерело живлення перетворювача (+12 В);

I_A – уніфікований вихідний сигнал по струму (він же струм споживання).

Керування та індикація:

3 клавіші – конфігурування параметрів перетворювача;

LCD – індикація вимірюваних величин з одиницями вимірювання(РКД);

Зелений світлодіод – індикація нормального режиму роботи;

Червоний світлодіод – індикація повідомлень про помилки та при виході параметру за встановлені межі.

Мікроконтролер:

EEPROM – запам'ятовуючий пристрій для всіх параметрів;

μC – функції обчислення та контролю мікроконтролера.

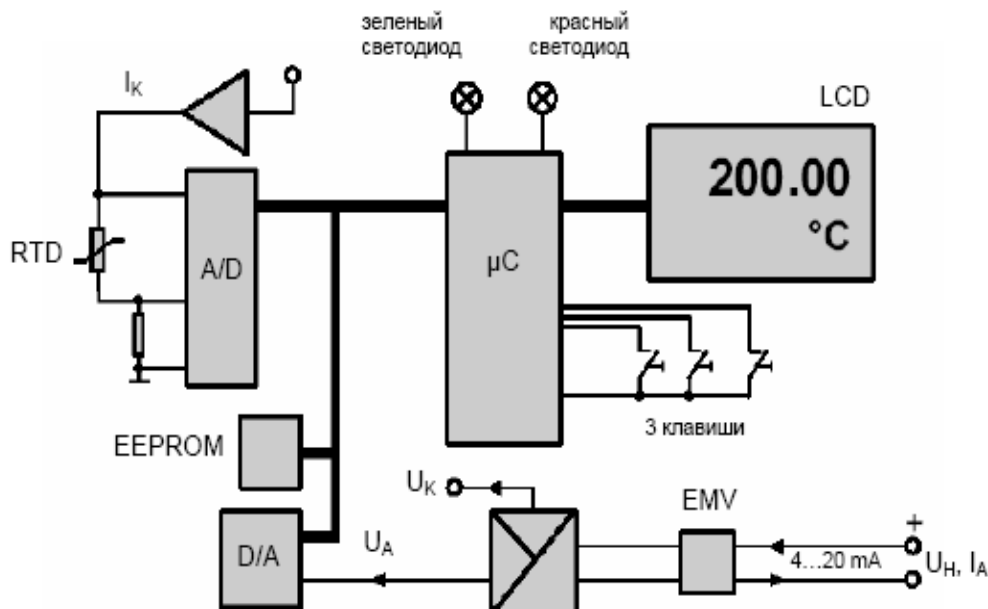


Рис. 4.6. Структурна схема перетворювача **Sitrans TF2**.

Основною перевагою перетворювача **Sitrans TF2** є двопровідна схема живлення, в якій виконано об'єднання ланцюга живлення перетворювача з одночасним передаванням по ньому сигналу вимірювальної інформації - вихідного уніфікованого аналогового сигналу по струму в межах 4...20 мА, який відповідає значенню вимірюваної температури. Тобто, при налаштованому початковому значенні вимірюваної температури, схема перетворювача споживає струм 4 мА напругою постійного струмі в межах 12...30В. В кінці діапазону – перетворювач споживає струм 20 мА при тих же межах напруги живлення.

Для передавання інформації про значення вимірюваної температури немає необхідності в додаткових лініях зв'язку. Для отримання цієї інформації достатньо в двопровідний ланцюг підведення живлення, ввімкнути опір навантаження величиною $R_L \cong 500$ Ом (рис. 4.7) та отримати на ньому, на необхідній

відстані місця вимірювання, спад напруги, який може бути використаний,

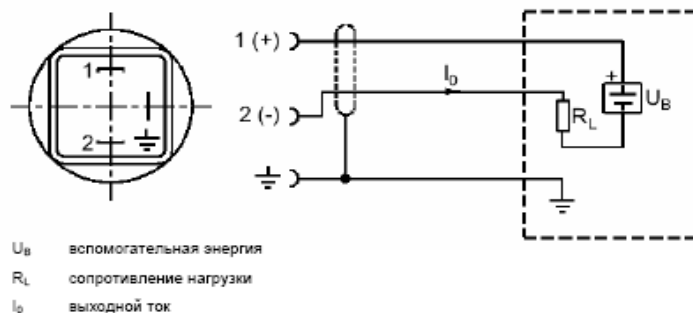


Рис.4.7. Схема підключення **TF2** до двопровідної лінії живлення.

наприклад, для перетворення в аналого-цифровому перетворювачі (АЦП) мікропроцесорного контролера системи керування технологічним процесом.

Для напівпровідникових терморезисторів (їх називають термісторами) коефіцієнт k – у формулі (4.1) залежить від значення абсолютної температури T і така залежність має вигляд: $k = B/T^2$, де B – коефіцієнт, що залежить від матеріалу термістора. Якщо підставити це значення в (4.1), то отримаємо характеристику перетворення термістора:

$$R_t = C * e^{kT} = C * e^{\frac{B}{T}}. \quad (4.10)$$

Термістори мають великий від'ємний температурний коефіцієнт опору та великий питомий опір.

Для їх виготовлення використовують напівпровідникові матеріали: германій, окисли міді, марганцю, кобальту, магнію, титану і їх суміші. Такі матеріали мають великий від'ємний температурний коефіцієнт опору та великий питомий опір. Це дає можливість виготовляти малі за розміром чутливі елементи зі значними коефіцієнтами перетворення, значення яких в 5-10 раз більші, ніж у провідникових терморезисторів. Суміш порошків компонентів запікається у формі під тиском і закріплюється поверхневим обпалюванням при $t=1000^\circ\text{C}$ в контрольованій атмосфері. Виводи припаюють до двох точок попередньо металізованої поверхні напівпровідника. Випускають у вигляді: дисків, циліндрів, кілець. Використовують у схемах сигналізації. Недолік погана відтворюємість датчиків, їхня не ідентичність.

Найбільш поширені терморезистори типу ММТ (суміш окислів міді та мар-

ганцю, діапазон: - 60° ...+ 180°C) та КМТ (окисли кобальту та марганцю, діапазон: -10...+300°C. За діапазоном вимірювання можлива зміна номінального опору ТО. Зміни відповідного опору нелінійні. Без спеціального відбору взаємозамінність термісторів досить посередня і відхилення може сягати $\pm 10\%$. Як ЗВ для вимірювання температури їх практично не використовують через нелінійну характеристику перетворення. Проте використовують в каналах технологічного контролю та сигналізації, коли ТО повинен бути чутливим та компактним, а компаратор приладу, який його вміщує, налаштовується на певну точку спрацьовування по температурі. Клас точності 0,1...0,3.

Лекція №7

Тема: Класифікація методів та ЗВ тиску

Мета: оволодіти знаннями про методи та ЗВ тиску

Методи: словесний, практичний, наочний

План:

- 1 Класифікація методів та ЗВ тиску
- 2 Будова, принцип дії деформаційного манометра
- 3 Різновиди деформаційних манометрів
- 4 Метрологічні характеристики

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки, слайди

Література:

- 1 Є.С. Поліщук Метрологія та вимірювальна техніка Львів Видавництво «Бескид Біт» 2003р 544с.
2. В.В. Кухарчук Метрологія та вимірювальна техніка Вінниця УНІВЕРСУМ 2004 -252с.
- 3 Е.М. Душин Основы метрологии и электрические измерения Л.; Энергоатомиздат, 1987-480с.
- 4 С.А. Спектор Электрические измерения физических величин Л.; Энергоатомиздат, 1987 -320с

КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ ТА ЗВ ЗВ ТА ВИМІРЮВАННЯ ТИСКУ

По виду вимірюваного тиску манометри діляться на дві групи, які відрізняються різними початками відліку тиску, тобто, різними, прийнятими за нуль, значеннями тиску: в першу групу входять манометри надлишкового тиску, а у другу - абсолютного тиску.

В манометрах надлишкового тиску, як позитивного, тобто, більшого за атмосферний тиск, так і від'ємного (вакуумметричного, тобто, меншого за тиск навколишнього середовища), за нуль приймається значення атмосферного тиску. До них відносяться:

- **манометри** – прилади які призначені для вимірювання надлишкового тиску від $0,6$ до 10^5 кгс/см² ($0,06...10$ МПа);

- **вакуумметри** - прилади для вимірювання розрідження (вакуумметричних тисків) до $-1,0$ кгс/см² ($-0,1$ МПа);

- **мановакуумметри** – прилади які призначені для вимірювання надлишкового тиску від $0,6$ до 24 кгс/см² так і вакуумметричного тиску до $-1,0$ кгс/см²;

- **напороміри** – манометри для вимірювання малих надлишкових тисків (до $+0,4$ ат) від атмосферного;

- **тягоміри** – вакуумметри верхню межею вимірювання тиску яка не перевищує $-0,04$ МПа = $-0,4$ кгс/см²;

- **тягонапороміри** – мановакуумметри з крайніми межами вимірювання відхилення тиску від атмосферного в сторону розрідження та надлишкового тиску $\pm 0,2$ кгс/см² ($\pm 0,02$ МПа або ± 20 КПа).

Другу групу складають манометри абсолютного тиску, які пристосовані для вимірювання тиску, що відраховується від абсолютного нуля тиску, тобто, повної його відсутності. До них відносяться:

- **барометри** – манометри абсолютного тиску, які пристосовані для вимірювання тиску атмосфери;

- **укорочені барометри** – це ртутні вакуумметри для вимірювання абсолютних тисків (менше $0,2$ кгс/см²);

- **вакуумметри залишкового тиску** - призначені для вимірювання глибокого вакууму, тобто, абсолютних тисків менш $0,002$ кгс/см².

Дещо осторонь стоїть третя група манометрів, яка включає в себе диференціальні манометри та мікроманометри.

Диференціальні манометри (дифманометри) - це манометри, які вимірюють різницю двох тисків, ні один із яких не є атмосферним, і використовуються в різних областях промисловості. Приклади використання дифманометрів: вимірювання перепадів тиску; вимірювання витрати рідин, газів та пари по перепаду тиску на спеціальних звужуючих пристроях; вимірювання рівня рідин, що знаходяться під дією атмосферного, надлишкового та вакуумметричного тисків тощо.

Мікроманометри – це дифманометри лабораторного типу які використовуються для вимірювання тиску чи різниці тисків в газових середовищах з верхньою межею вимірювання більше за $0,04$ кгс/см².

Прилади для вимірювання тиску можуть бути показуючими, самописними, а також з електроконтактним регулюючим чи сигналізуючим улаштуванням.

По класам точності встановлений наступний ряд класів манометрів:

0,005; 0,02; 0,05; 0,15; 0,2; 0,25; 0,4; 0,5; 0,6; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0

По метрологічному призначенню манометри діляться на:

а) технічні (робочі); б) лабораторні (контрольні); в) зразкові, які призначені для повірки ними інших манометрів.

По принципу дії манометри можуть бути розділені на дві великі групи.

Першу утворюють прилади, в яких сили, що утворюються вимірюваним тиском, зрівноважуються відомими силами (силою ваги або пружною силою деформації). До цієї групи входять: рідинні, деформаційні та вагові манометри.

Рідинні манометри засновані на гідростатичному принципі, коли вимірюємий тиск зрівноважується гідростатичним тиском стовпа манометричної рідини. До них належать:

- а) двохтрубний (U - подібний) манометр або вакуумметр;
- б) однострубний (чашковий) манометр з постійним або змінним кутом нахилу;
- в) ртутний барометр (чашковий або сильфонний);
- г) компенсаційний манометр;
- д) укорочений рідинний манометр;
- е) багатотрубний манометр;
- ж) компресійний манометр.

Деформаційні (пружинні) манометри, в яких вимірюємий тиск або різниця тисків визначаються по деформації пружкого чутливого елемента, в якості яких використовують:

- а) трубчасті пружини різної конфігурації: одно- та багато виткові; S-подібні гвинтові;
- б) мембрани: плоскі та з гофрами (трапецієдальними, синусоїдальними та крайовими); мембранні коробки; батареї мембранних коробок; **сильфони** (гармонікові мембрани).

Вагопоршньові манометри. В них тиск або різниця тисків зрівноважується тиском, який утворюється в циліндрі мірними вагами (гирями) та вагою не ущільненого поршню. Такі манометри діляться на види: - з простим поршнем; - з диференційними поршнями; - із зрівноваженими поршнями; - з поршневим мультиплікатором тиску.

Другу групу утворюють прилади, тиск в яких вимірюється по зміні іншої фізичної властивості тіла під дією сил тиску. Групу складають манометри: електричні та спеціального призначення.

Принцип дії **електричних манометрів**, що отримують найбільше розповсюдження за останнім часом, ґрунтується на залежності зміни електричних параметрів манометричного перетворювача від вимірююмого тиску.

До них відносяться:

Манометри опору, принцип дії яких ґрунтується на зміні опору чутливого елемента під дією зовнішнього тиску.

Манометри з тензоперетворювачами – принцип дії ґрунтується теж на зміні електричного опору чутливого елемента, виготовленого із тензочутливого

матеріалу (константану, або сплавів нікеля і міді чи нікелю і хрому), але за його деформації вимірюваним тиском.

П'єзоелектричні (п'єзокварцеві) манометри – принцип дії ґрунтується на властивості деяких кристалічних речовин утворювати електричні заряди під дією зусилля, що прикладене до них.

Ємнісні манометри – ґрунтуються на зміні ємності плоского конденсатору за зміни відстані між його обкладинками під дією тиску.

До манометрів спеціального призначення відносяться:

Теплові манометри - в них мірою розрідження є зменшення теплопровідності розрідженого газу.

Оптичні манометри – ґрунтуються на зміні показника заломлення світла в газі із зміною тиску.

Акустичні манометри – використовують зміну густини газу із зміною тиску і зв'язану з цим зміну резонансної частоти заповненого газом коліна скороченого рідинного манометру, який є акустичним резонатором.

Іонізаційні вакуумметри – ґрунтуються на залежності іонного струму спеціальної манометричної лампи, під'єднаної до вимірюваного за тиском газового середовища та вторинного вимірювального приладу, від тиску в цьому середовищі. Перераховані групи не вичерпують повністю все різномаяття принципів дії, які використовуються в приладах вимірювання тиску.

Будова, принцип дії деформаційного манометра

Принцип дії ДМ ґрунтується на використанні пружкої деформації чутливих елементів або сили, яку вони розвивають під дією вимірюваного тиску. Вони перетворюють тиск у пропорційне переміщення або зусилля. Тобто у ДМ вимірюваний тиск зрівноважується механічною напругою в матеріалі чутливого елемента:

$$R_{\text{вим}} = K_{\text{пр}} \cdot x, \quad (5.9)$$

де $K_{\text{пр}}$ – коефіцієнт жорсткості пружного чутливого елемента, Н/м;

x – деформація чутливого елемента, м.

Деформаційні манометри відрізняються простотою та надійністю конструкції, невеликими габаритами, досить високою точністю, широким діапазоном вимірювання. Завдяки цим якостям деформаційні манометри широко застосовуються в різних галузях техніки в діапазоні вимірювань від 50 Па до 1000 МПа.

Розновидність чутливих елементів ДМ приведена на рис. 5.3: а,б) одно- та багатовиткові трубчасті пружини; в...з) мембрани; к,м) сільфони та ін.

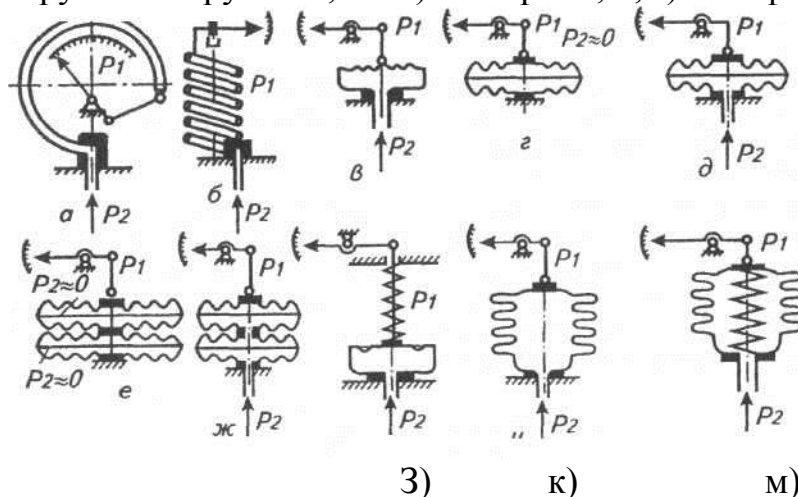


Рис. 5.3. Чутливі елементи деформаційних манометрів

Пругкий чутливий може пружко деформуватись під впливом різниці між внутрішнім і зовнішнім тиском. Величина цієї деформації є мірою різниці згаданих тисків. Деформація чутливого пружкого елемента в таких приладах обмежена або долями мм, або декількома мм. Тому в корпусі таких приладів, які відповідають тим чи іншим специфічним вимогам, крім основної частини - пружкого чутливого елемента, знаходиться також передавальний механізм, який застосовують для збільшення деформації пружкого чутливого елемента в необхідну кількість разів для переміщення показника по шкалі приладу.

ДМ – є найбільш розповсюдженим видом приладів для вимірювання тиску в діапазоні від 100Па (10^{-3} кгс/см²) до 1000мПа. Похибки таких приладів складають від $\pm 0,16\%$ до $\pm 4\%$ від верхньої межі вимірювання.

ДМ випускаються промисловістю в звичайному виконанні, а також у вібростійкому, антикорозійному, пило та вибухозахищеному виконаннях з рвзними додатковими пристроями для реєстрації, сигналізації та перетворення вимірювальної інформації.

У приладі з трубчастою одновитковою пружиною (рис. 5.3, а) овального або еліптичного перетинів під впливом надмірного тиску, що подається у внутрішню порожнину, пружина деформується та її вільний кінець переміщується, діючи на передавальний механізм, який повертає стрілку приладу. Один кінець трубки закріплюють нерухомо на цоколі манометру, через штуцер якого в трубку подається вимірюємий тиск. Другий кінець трубки є герметично запаєним. Під дією надлишкового внутрішнього тиску трубка дещо розкручується. Зміщення вільного кінця трубки, який зв'язаний з передавальним механізмом, дає інформацію про величину тиску в вимірюємому середовищі.

Трубчата пружина була запропонована французом Бурдоном в 1851р. (запатентована), можливість використання якої для вимірювання тиску була відкрита ним випадково. При виготовленні змійовика, тобто, зігнутої циліндричної трубки по гвинтовій лінії, операцію з трубкою виконали невдало і сплющили частину трубки. Щоб її вирівняти, один кінець трубки закрили, а в другий під тиском подали воду. При збільшенні тиску помітили, що трубка сама по собі розкручується на деякий кут, що і наштотувало Бурдона на винахід приладу для вимірювання тиску. Майже 20 років було відсутнє теоретичне обґрунтування, під дією яких сил відбувається розкручування такої пружини, так як трубка круглого перерізу, аналогічно зігнута і за таких же умов не розкручується.

Розкручування трубчатої пружини пояснив Хілл і в основі пояснення положено те, що під дією внутрішнього тиску мала вісь поперечного перерізу трубки збільшується при незмінній її довжині, що і викликає саме розкручування.

Закон Гука, як відомо, проголошує, що під впливом навантаження в пружкому тілі виникає деформація, яка пропорційна цьому навантаженню, і є справедливим тільки до певної межі збільшення навантаженості, яка називається межею пропорційності.

Механічні властивості матеріалу пружини ДМ залежать від її хімічного складу, характеру механічної та термічної обробки при виготовленні і температури, при якій вона повинна працювати, а також залежать від домішок

і обробки. Наприклад, трубчаті пружини ДМ для тисків до 50кгс/см² виготовляють із латуні, томпака, краще із бронзи (сплав міді з цинком, свинцем або оловом), або інших більш складних сплавів на мідній основі. Особливо високоякісна берилієва бронза, використовують також і сталі різних складів, або в останній час сплави нікелю.

В трубчатих пружинах є така особливість, що якщо підняти в них тиск в межах пропорційності, то після досягнення цього значення при незмінному тиску деформація пружини повільно зростає, наближаючись асимптотично до кінцевого межового значення. Таке поступове, з терміном часу, збільшення деформації, називається пружкою післядією. Величина пружкої післядії тим більша, чим ближче тиск підходить до межі пропорційності для даної трубки. В загальному, при тиску, який дорівнює межі пропорційності, пружка післядії сягає 2% від відповідної цьому тиску деформації, тоді як при тиску в 50% від межі пропорційності, в цих же пружких елементах вона становить 0,5%. Якщо тепер знизити тиск до $P=0$, то необхідним буде час (прояв дії пружкої післядії) поки кінець трубки наблизиться до вихідного стану. Але точне вихідне положення трубка вже не займе. Це явище називається залишковою деформацією і надає друге відхилення від закону Гука. При повторних навантаженнях величина залишкових деформацій накопичується. Цим і пояснюється, що для технічних ДМ верхня межа вимірювання обмежується половиною тиску, який відповідає межі пропорційності. Крім цього для забезпечення на практиці необхідного запасу по надійності та достовірності, держстандарт забов'язує, щоб робоча межа надлишкового тиску не була більшою $\frac{3}{4}$ верхньої межі вимірювання манометру при постійному тиску, та $\frac{2}{3}$ верхньої межі - при змінному тиску. Для контрольних манометрів верхня межа назначається не більше третини межі пропорційності, а у зразкоцях – не більше $\frac{1}{4}$.

З підвищенням температури межа пропорційності пружин знижується, а пружка післядії та залишкові деформації зростають. З цієї причини манометри для вимірювання тиску пари відокремлюють від пари гідравлічним затвором. Трубку, якою підводять тиск пари, скручують в вигляді вертикально розташованих спіральних витків (1,5 витка), в яких збирається конденсат, який і відіграє роль гідравлічного затвору. Як результат – манометр має завжди температуру навколишнього середовища.

По стійкості до дії температури Д(П)М виготовляють чотири групи: найбільш стійкі в інтервалі $(-50 - +60)^{\circ}\text{C}$, а найменш стійкі від $(+10 \text{ до } +35)^{\circ}\text{C}$.

Конструкція приладу описана в розділі 4.5 «Манометричні термометри».

Різновиди деформаційних манометрів

Манометри з гелікоїдальною пружиною (рис. 5.3,б) більш чутливі і мають межі вимірювання від 0 до 160 МПа, клас 1,0 ; 1,5. Але є великогабаритними приладами.

Практика показала, що для високих тисків навіть абсолютна пряма товстостінна трубка з ексцентричним повздовжним отвором, який не доходить до кінця, під дією тиску речовини, що подається в її середину, теж деформується. Такі негнуті трубчаті пружини використовуються як чутливі елементи в приладах для вимірювання тиску від 1000 до 10000 кгс/см² (100 до 1000 МПа) і їхній клас точності не перевищує 1,0.

Лекція №8

Тема: Електричні манометри

Мета: оволодіти знаннями про електричні манометри

Методи: словесний, практичний, наочний

План:

- 1 Електричні манометри опору
- 2 Електричні манометри з тензоперетворювачами
- 3 Електричні пьезоелектричні манометри

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки, слайди

Література:

- 1 Є.С. Поліщук Метрологія та вимірювальна техніка Львів Видавництво «Бескид Біт» 2003р 544с.
2. В.В. Кухарчук Метрологія та вимірювальна техніка Вінниця УНІВЕРСУМ 2004 -252с.
- 3 Е.М. Душин Основы метрологии и электрические измерения Л.; Энергоатомиздат, 1987-480с.
- 4 С.А. Спектор Электрические измерения физических величин Л.; Энергоатомиздат, 1987 -320с

ЕЛЕКТРИЧНІ МАНОМЕТРИ

До електричних манометрів відносяться : манометри опору, п'єзоелектричні манометри та манометри з тензоперетворювачами.

Принцип дії електричних манометрів полягає у використанні залежності електричних параметрів матеріалів від тиску. Прилади цієї групи застосовуються для вимірювання високих тисків та глибокого вакууму і відрізняються високою точністю, швидкодією, малими габаритами, вібро- та ударостійкістю. Для опису сенсорів (ПВП) електричних манометрів використовуються терміни п'єзокоефіцієнт та п'єзоопір, який відноситься, як правило, до манометрів опору та п'єзоелектричних манометрів, хоча інколи ці терміни використовують, маючи на увазі класичний тензометричний перетворювач.

Манометри опору використовуються для вимірювання тиску в важкодоступних місцях. Принцип дії приладів цієї групи ґрунтується на непрямому методі вимірювання - зміні електричного опору чутливого елемента під дією зовнішнього тиску, які функціонально пов'язані між собою. Такий манометр являє собою масивний порожнистий корпус, в порожнині якого знаходиться вимірювальна котушка і куди подають вимірюваний тиск. Котушка являє собою в один рядок намотаний на ізоляторі тонкий манганіновий дріт діаметром 0,05 мм та менше. Опір дроту вимірюють за допомогою відомих приладів: логометра, автоматичного моста тощо.

Принципово в якості металу дроту може використовуватись будь-який метал або напівпровідник. Але для використання в якості сенсора тиску, як правило, підбирають метал з великою зміною опору під дією тиску, тобто, з великим, так званим, п'єзокоефіцієнтом та малим температурним коефіцієнтом опору. Зміна опору металу (в Ом), при прикладеному до нього тиску, відповідає залежності:

$$\Delta R = K_p \cdot R \cdot P, \quad (5.10)$$

де K_p - п'єзокоефіцієнт; R - опір металу, Ом; P - прикладений тиск.

Найбільш повно цим вимогам відповідає манганін, хоча його п'єзокоефіцієнт відносно малий. Тому сенсори тиску, що виготовлені із манганіну, і реалізують такий метод, доцільно використовувати при високих та над високих тисках – до 3ГПа.

Крім металевих датчиків, в якості чутливих елементів використовуються вугільні та напівпровідникові матеріали. Їхній п'єзокоефіцієнт в тисячі раз більший, ніж у манганіну, але характеристика перетворення суттєво нелінійна. Крім цього вони мають великий гістерезис та залежність від впливу температури. Напівпровідникові датчики опору механічно не міцні і використовуються на тиски до 10МПа.

Принцип дії п'єзоелектричних манометрів заснований на використанні п'єзоелектричного ефекту, тобто ефекту виникнення електричного заряду під час деформації деяких кристалів (кварцу, турмаліну, барію та ін.). Пристрій датчика п'єзокварцового манометра показано на рис. 5.5,в. Чутливим елементом датчика є дві кварцові пластини 2 та 4, які розділені контактною пластиною 3 і за допомогою шайб 1, 5 затискуються між мембраною 8 та кришкою 6. Електричний заряд знімається з кварцових пластин і за допомогою провідника 7 подається на вимірювальний пристрій.

П'єзокварцові манометри це безінерційні прилади і застосовуються під час вимірювання швидкозмінного тиску, рівень вимірювання тиску — до 100 МПа.

Манометри з тензоперетворювачами. Загальна теорія та конструкція тензометричних перетворювачів.

Принцип дії тензометричних перетворювачів ґрунтується на, так званому, тензоефекті - зміні їхнього активного опору провідника за пружних деформацій. Самий поширений варіант використання тензоефекту - це розтягування дроту або стрічки з тензочутливого матеріалу. Такі перетворювачі використовують для вимірювання невеликих переміщень, деформацій, або інших механічних величин, що пов'язані з деформаціями.

Як матеріали для тензоперетворювачів використовуються константан, сплави міді й нікелю, нікелю й хрому. Поряд з металевими тензоперетворювачами дедалі ширше застосовуються напівпровідникові, які відзначаються значно вищою чутливістю, меншими габаритами і масою.

Найбільш розповсюджені металеві тензорезистори (рис. 5.6), які виготовляються із зигзагоподібно укладеного та приклеєного до основи 1 (з паперу або пластмаси) манганінового дроту 2 діаметром 0,01 ...0,05 мм. До кінця дроту приварюються вивідні провідники 3 діаметром 0,5 мм. Часто замість дроту використовується металева фольга завтовшки 0,001 ...0,01 мм, із якої методом витравлювання одержують зигзагоподібну решітку. Зверху перетворювач покривається захисною водостійкою плівкою 4. Тензоперетворювач наклеюють на пружний елемент, що перебуває під дією вимірюваного зусилля, пропорційного тиску. Останнє приводить до деформації пружного елемента і одночасно до зміни розмірів тензорезистора (змінюється довжина дроту і його поперечний переріз) і, як наслідок, змінюється електричний опір R перетворювача за формулою:

$$R = n (\rho * L / S),$$

де ρ - питомий опір матеріалу; L - база перетворювача (довжина прямолінійних ділянок дротинки); S - площа перерізу дротинки; n - кількість укладених зигзагоподібно ділянок.

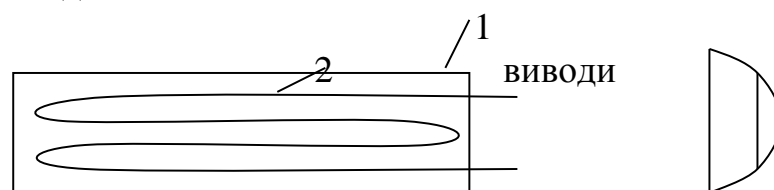


Рис. 5.6. Спрощена схема тензорезистора.

Найчастіше цей опір вимірюється за допомогою мостової схеми. Для зменшення впливу зміни температури навколишнього середовища на точність вимірювань застосовуються спеціальні схеми термокомпенсації.

Температурної похибки немає у схемі, де використовується чотири однакових тензорезистори, які розміщуються на мембрані або консолі, до яких підводиться вимірюване зусилля або тиск. Під дією тиску чи зусилля P (рис. 5.7) вигинається пружна консоль 1, деформація якої вимірюється за допомогою чотирьох дротяних або фольгових тензорезисторів (згори $R1, R4$, знизу $R2, R3$).

Резистори ввімкнені у незрівноважену мостову схему. Напруга нерівноваги підсилюється або перетворюється в відповідний цифровий код, який опрацьовується і використовується далі в системі. Схема має підвищену чутливість до вимірюємого зусилля, так як одночасно змінюються від

деформації всі чотири резистори, причому два R_1, R_4 в сторону розтягування, а R_2, R_3 – в сторону стискування, збільшуючи тим самим U_{cd} .

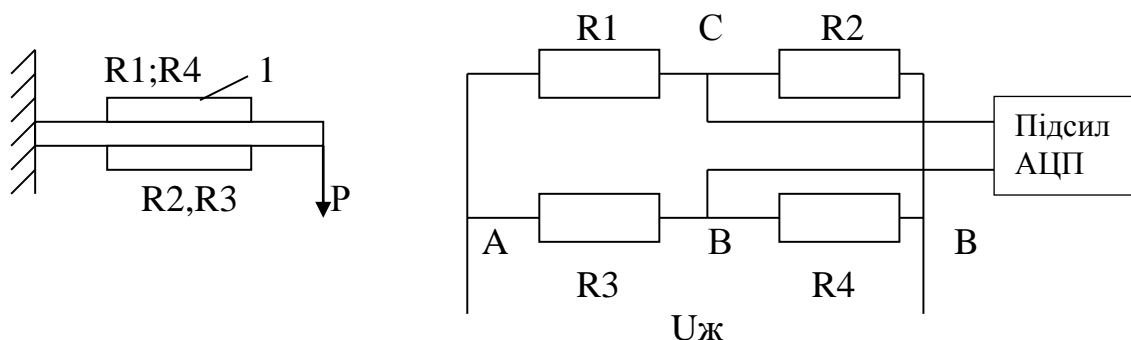


Рис. 5.7. Варіант використання тензорезисторів на консолі.

На такому принципі працюють прилади для вимірювання тиску типу «Сапфір» і їхні модифікації, а також фірми «Siemens» типу Sitrans P, PZ, дифманометри типу DS.

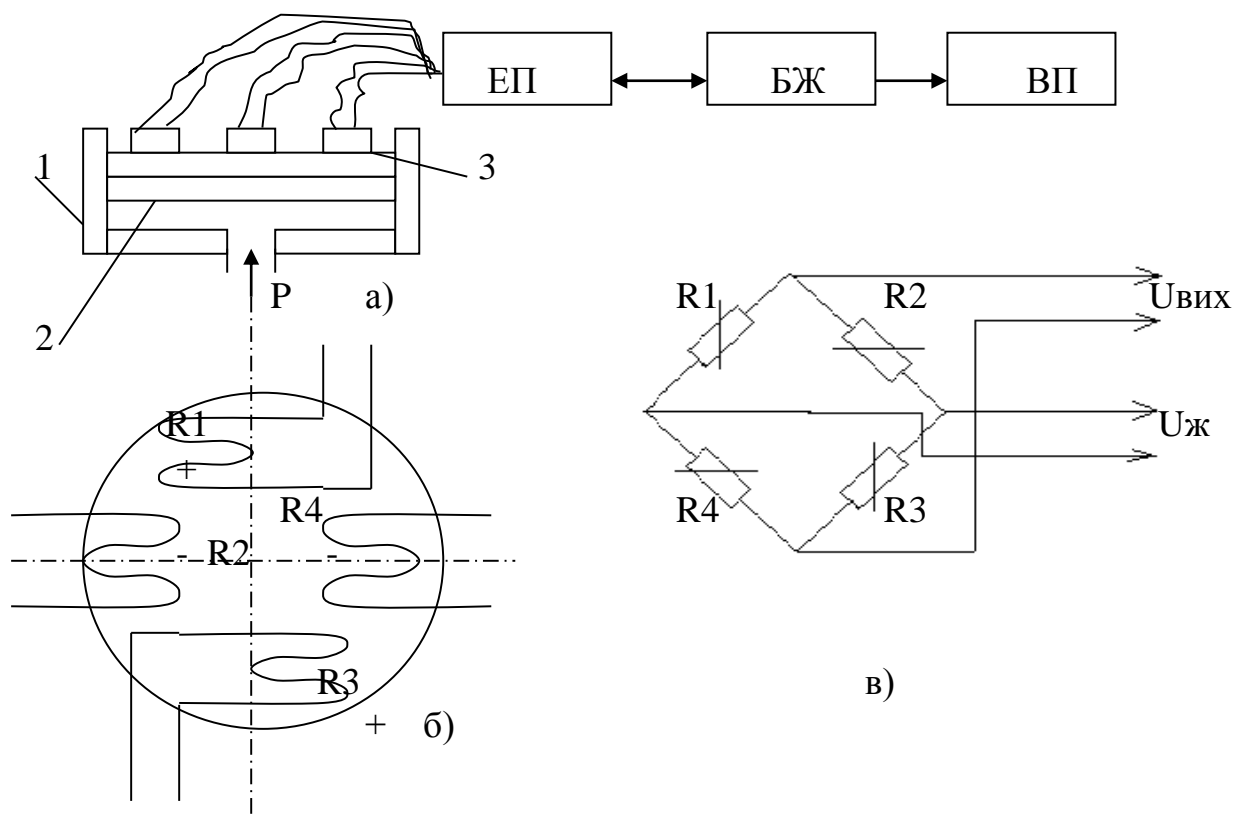


Рис. 5.8. Варіант виконання тензомодулю типу "Сапфір".

Структурна схема первинного вимірювального перетворювача (ПВП) "Сапфір" для вимірювання надлишкового тиску показана на рис. 5.8.

В цьому випадку тензорезистори наносяться у вигляді монокристалічної плівки кремнію на сапфірову мембрану (рис.5.8,б). А сам первинний вимірювальний перетворювач складається з тензомодуля і вмонтованого електронного підсилювача ЕП (рис. 5.8,а). Тензомодуль – це корпус 1, в якому розміщується двошарова мембрана – нижня 2 металева, та верхня 3 із сапфіру, що закріплюється на металевій мембрані 2. На сапфіровій мембрані розміщується чотири однотипних тензорезистори, які вмикаються за мостовою схемою. Сапфір – це мінерал (різновид корунду, підклас простих окислів алюмінію), який

виготовляють синтетично і який являє собою кристал синього чи голубого кольору з домішками заліза та титану. Окремі резистори з'єднані так, що за прогину мембрани опори резисторів R1 та R3 зростають, а R2 та R4 зменшуються.

Напруга у вимірювальній діагоналі мостової схеми дорівнює:

$$U_{\text{diag}} = \frac{R_1 R_3}{R_1 R_3 + R_2 R_4} U_{\text{пит}} \quad (5.11)$$

При зростанні тиску рівновага мосту порушується і виникає різниця напруги у вимірювальній діагоналі, яку сприймає перетворювач.

Максимальне значення напруги $U_{\text{вих}} = 0,1 \text{ В}$, тому напругу підсилюють в ЕП, який розміщують в цьому ж корпусі. Сигнал вимірювальної інформації подається за двопровідною схемою до блоку живлення БЖ, де перетворюється в уніфікований сигнал по струму, який подається на вторинний прилад.

Вимірюючи перетворювачі «Сапфір» забезпечують вимірювання тисків до 100мПа, розрідження – до 10^{-5} мПа, різниці тисків від 2,5Па до 16мПа. За класом точності бувають: 0,1; 0,25; 0,5. Переваги: надійність, так як використовуються незначні деформації чутливих елементів; стабільність, високий клас точності – 0,1, дистанційна передача інформації.

Лекція №9

Тема: Загальні положення. Класифікація рівнемірів.

Мета: оволодіти знаннями про методи та засоби вимірювання рівня

Методи: словесний, практичний, наочний

План:

- 1 Класифікація рівнемірів.
- 2 Призначення та застосування рівнемірів
- 3 Сигналізатори рівня
- 4 Будова кондуктометричного сигналізатора рівня

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки, слайди

Література:

- 1 Є.С. Поліщук Метрологія та вимірювальна техніка Львів Видавництво «Бескид Біт» 2003р 544с.
2. В.В. Кухарчук Метрологія та вимірювальна техніка Вінниця УНІВЕРСУМ 2004 -252с.
- 3 Е.М. Душин Основы метрологии и электрические измерения Л.; Энергоатомиздат, 1987-480с.
- 4 С.А. Спектор Электрические измерения физических величин Л.; Энергоатомиздат, 1987 -320с

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ. КЛАСИФІКАЦІЯ РІВНЕМІРІВ.

Рівень продукту у місткості є мірою його наповнення і може бути критерієм визначення кількості рідин або сипких матеріалів, які є на складах, сховищах, технологічних апаратах, бункерах тощо.

Прилади рівня поділяються на дві основні групи: **рівнеміри** — для одержання безперервної інформації про положені рівня у резервуарі у будь-який момент часу; та **сигналізатори рівня** — для одержання інформації (дискретного сигналу) про досягнення рівнем деяких фіксованих значень. Часто рівнеміри мають сигнальні пристрої та виконують функції сигналізаторів.

Промисловість випускає широку номенклатуру приладів рівня і їх в залежності від призначення і конструкції класифікуються наступним:

-**за видом контролюваного матеріалу:** а) прилади рівня для рідини; б) прилади рівня для сипких матеріалів;

-**за принципом дії:** 1) вказівні стекла (реалізують закон з'єднаних посудин); 2) поплавкові та буйкові; 3) гідростатичні; 4) ємнісні; 5) акустичні (ультразвукові); 6) індуктивні; 7) радарні та мікрохвильові; 8) радіоактивні; 9) електроконтактні;

-**за способом відліку:** а) з безпосереднім відліком; б) з електричною передачею показів; в) з пневматичною передачею показів;

-**за типом ємності:** а) для відкритих та для закритих ємностей під тиском.

КОНДУКТОМЕТРИЧНІ СИГНАЛІЗАТОРИ РІВНЯ.

Принцип дії кондуктометричних приладів заснований на вимірюванні електричного опору рідин або сипучого середовища за допомогою спеціальних електродів, введених у вимірювальне середовище. Найпростішими пристроями подібного роду є сигналізатори рівня, що спрацьовують при замиканні двох електродів, що опускаються в ємність, з електропровідним матеріалом.

Роль одного з електродів може виконувати металева стінка ємності (апарата), що заземлюється, а другий вимірювальний електрод повинен бути добре електрично ізольований від неї.

На рис. 6.3 наведена принципова електрична схема кондуктометричного сигналізатора рівня.

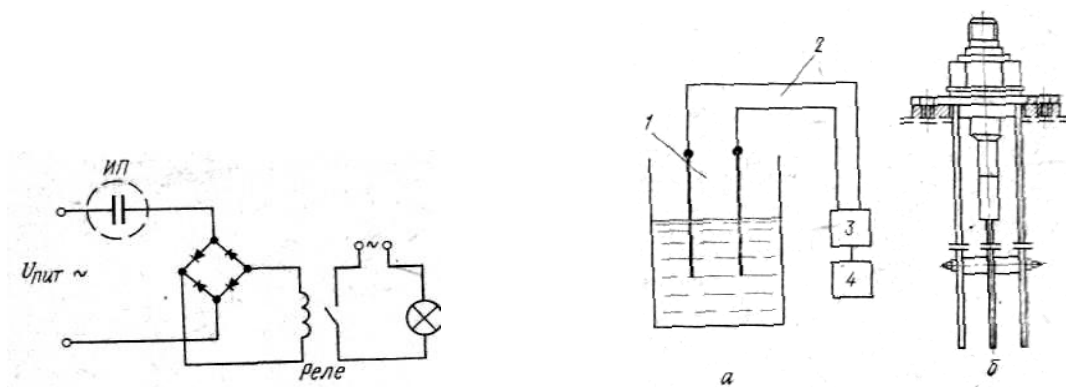


Рис.6.3. Принципова електрична схема кондуктометричного сигналізатора рівня

Змінний струм напругою не більше 7В від спеціального джерела живлення подається на двоелектродний вимірювальний перетворювач

ИП, що замикається при досягненні його рівнем контрольованого продукту. При цьому спрацьовує електромагнітне реле, що включає відповідні сигнальні або регулюючі контакти. У харчовій промисловості широко поширені подібні сигналізатори рівня, що випускаються приладобудівною промисловістю. Прилади забезпечують сигналізацію рівня з погрішністю ± 5 мм при температурі робочого середовища до 200°C .

Контактний кондуктометричний метод може бути використаний і для безперервного вимірювання рівня, для чого вимірювальні перетворювачі повинні бути укомплектовані спеціальною системою автоматичного спостереження, що забезпечує їх знаходження на рівні вимірюваного середовища. Однак подібні прилади не одержали поширення через громіздкість і невисоку надійність.

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РІВНЕМІРІВ

При виборі приладів для вимірювання рівня в умовах харчового виробництва виходять із вимог, пропонованих до їхньої точності, надійності, зручності обслуговування. Поплавкові й буйкові рівнеміри, наприклад, не можуть використовуватися для контролю рідин, які швидко кристалізуються, липких і грузлих продуктів. При необхідності застосування таких приладів варто передбачати можливість їх швидкої безрозбірної мийки, а іноді й автоматичного очищення - механічної або за допомогою миючих розчинів. Так, при вимірюванні рівня виноматеріалів потрібно періодично видаляти винний камінь, що відкладається на датчиках. У випадках, коли контроль рівня не може бути здійснений за допомогою загальнопромислових приладів, на спеціалізованих заводах харчової промисловості розробляються й виготовляються рівнеміри, призначені для конкретних умов вимірювання й експлуатації.

Електричні рівнеміри з успіхом використовуються для сигналізації граничних рівнів (максимальних і мінімальних) різних продуктів, у тому числі й штучних (нарізанні кабачків, баклажанів, перецю, баклажанної ікри, соко-стружкової суміш у цукровому виробництві й т.п.).

Для вимірювання рівня рідин, які швидко кристалізуються (цукрові розчини, виноматеріали й т.п.) доцільно використовувати п'єзометричні рівнеміри, однак для їхньої роботи потрібно чисте стиснене повітря. У хлібопекарській промисловості добре зарекомендували себе мембранні сигналізатори рівня, які використовуються для контролю рівня борошна, опари, тіста та ін., але для чищення чутливої мембрани до неї повинен бути забезпечений швидкий і легкий доступ.

Радіохвильові, ультразвукові й радіоізотопні рівнеміри перспективні для застосування, тому що в багатьох випадках тільки вони можуть забезпечити надійне вимірювання рівня в закритих ємностях, що перебувають під високим тиском (наприклад

Лекція №10

Тема: Гідростатичні та п'єзометричні рівнеміри

Мета: оволодіти знаннями про гідростатичні та п'єзометричні рівнеміри

Методи: словесний, практичний, наочний

План:

- 1 Гідростатичні рівнеміри
- 2 П'єзометричні рівнеміри
- 3 Акустичні рівнеміри
- 4 Метрологічні характеристики

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки, слайди

Література:

- 1 Є.С. Поліщук Метрологія та вимірювальна техніка Львів Видавництво «Бескид Біт» 2003р 544с.
2. В.В. Кухарчук Метрологія та вимірювальна техніка Вінниця УНІВЕРСУМ 2004 -252с.
- 3 Е.М. Душин Основы метрологии и электрические измерения Л.; Энергоатомиздат, 1987-480с.
- 4 С.А. Спектор Электрические измерения физических величин Л.; Энергоатомиздат, 1987 -320с

Гідростатичні та п'єзометричні рівнеміри

Принцип дії **гідростатичних рівнемірів** ґрунтується на вимірюванні гідростатичного тиску стовпа рідини на дно резервуара, який залежить від висоти її рівня. Загальне рівняння для тиску P стовпа рідини та відповідно висота H рівня рідини в резервуарі, мають вигляд:

$$P = \rho \cdot g \cdot H \text{ [Па]}, \quad (6.1) \quad H = \frac{P}{\rho \cdot g}, \quad (6.2)$$

де ρ - густина рідини, кг/м^3 ; H – висота стовпа рідини (рівень), м; g – прискорення вільного падіння, м/с^2 .

За способом вимірювання гідростатичні рівнеміри діляться на прилади з безпосереднім вимірюванням стовпа рідини манометром (**М**) (рис. 6.2,а) та п'єзометричні - з безперервним продуванням повітря (рис. 6.2,б).

Рівнеміри з безпосереднім вимірюванням стовпа рідини використовують для вимірювання рівня неагресивних, незабруднених рідин, які знаходяться під атмосферним тиском або робочим тиском в комплекті з дифманометром. До таких приладів відноситься, наприклад, перетворювач тиску **КРТ-С**.

Перетворювач **КРТ-С** призначений для вимірювання надлишкового тиску нейтральних до титану середовищ (газу, пари, рідини) і здійснює безперервне пропорційне перетворення вимірюваного тиску в уніфікований вихідний сигнал постійного струму, який використовується в якості вхідного у вторинних приладах. Перетворювач КРТ-С має вбудований тензодатчик (див. розділ 5.3).

Основні технічні та метрологічні характеристики **КРТ-С**:

1. Робочий в діапазон температур від мінус 45 до плюс 80 °С і відносній вологості 98 % при 25 °С.
2. Вимірюване середовище - рідини, що не кристалізуються, гази й насичені пари в діапазонах температур від мінус 45 до плюс 120 °С.
3. Верхні межі вимірюваного тиску й граничні тиски перевантаження (зазначені в дужках): 0,25(0,5); 0,6(1,2); 1,0(2,0); 1,6(3,2); 2,5(5,0); 4,0(8,0); 6,0(12); 10(20); 16(32); 25(50); 40(70); 60 (90); 100 (125) Мпа.
4. Межі допустимої основної похибки γ , виражені у відсотках від діапазону вимірювання або від діапазону зміни вихідного сигналу $\pm 0,5$; $\pm 1,0$.
5. Варіація вихідного сигналу - не більше $0,5 |\gamma|$.
6. Додаткова похибка перетворювачів, викликана зміною температури навколишнього повітря або вимірюваного середовища, виражена у відсотках на кожні 10 °С, не більше: $\pm 0,45$ — для перетворювачів з $|\gamma| = 0,5$ %; та $\pm 0,6$ — для перетворювачів з $|\gamma| = 1$ %;
7. Вихідний сигнал постійного струму — 4-20 мА.
8. Електричне живлення — від джерела живлення постійного струму напругою від 9,6 до 40 В.

Для вимірювання рівня агресивних середовищ, використовують спеціальні розподільчі пристрої для підведення тиску до манометра. В більшості метод безпосереднього вимірювання тиску стовпа рідини застосовується для вимірювання рівня речовин в ємностях, які знаходяться під тиском.

Різновидом гідростатичних рівнемірів є **п'єзометричні** (рис. 6.2.б) – рівнеміри, принцип дії яких ґрунтується на перетворенні гідростатичного тиску рідини в тиск повітря, що надходить від стороннього джерела та постійно

продувається (барботується) через шар рідини. У цього рівнеміра чутливий елемент не знаходиться в безпосередньому контакті з вимірюваним середовищем, а сприймає гідростатичний тиск рідини через тиск повітря, що є суттєвим його достоїнством. Для п'єзометричних рівнемірів також характерна похибка вимірювання, що виникає при зміні густини визмірюваного середовища.

У п'єзометричному рівнемірі (рис. 6.2,б) стиснене повітря крізь дросель (регулятор тиску) 1 та пристій (стакан) візуального контролю 2 подається у відкриту з одного кінця п'єзометричну трубку 3, занурену майже до дна резервуару 5. Тиск повітря в п'єзометричній трубці зумовлюється протитиском стовпчика рідини і дорівнює йому. Тому тиск повітря, що вимірюється манометром 4, характеризує рівень рідини в резервуарі.

П'єзометричні рівнеміри відносяться до пневматичних приладів і в якості джерела енергії використовується стиснене повітря ($P_{жив} \leq 140$ кПа), яке подається від компресора, як правило, через фільтр, що забезпечує очищення повітря. Величина тиску повітря, яке безперервно продувається через п'єзометричну трубку, встановлюється дроселем (регулятор) 1 і контролюється манометром 4.

Регулятор 1 призначений: **по-перше**, для створення самої вимірювальної камери, під якою у пневматиці розуміють простір між соплом (отвором) регулятора 1, через яке нагнітається повітря (його ще називають вхідним або основним отвором) та вихідним отвором п'єзометричної трубки, через який проходить витікання повітря; **по-друге**, для регулювання та підтримування стабільності подачі тиску повітря, що надходить у вимірювальну камеру. В п'єзометричних системах для продування через п'єзотрубку дозованої витрати повітря, найбільш часто використовують регулятори витрати повітря типу РРВ-1. Принцип дії цього регулятора ґрунтується на автоматичному підтримуванні постійного перепаду тиску на дроселі 1, в результаті чого забезпечується постійна витрата повітря через цей дросель.

У випадку, коли вимірюваний рівень рідини в резервуарі знаходиться під надлишковим тиском, то тиск повітря живлення $P_{жив}$ на виході регулятора 1, що подає повітря у п'єзотрубку, повинен бути:

$$P_{над} > H_{макс} * \rho * g, \quad (6.3)$$

где $P_{над}$ – надлишковий тиск, кПа; $H_{макс} * \rho * g$ – максимальний гідростатичний тиск стовпа рідини, кПа.

Необхідною умовою надійної роботи п'єзометричних рівнемірів є два моменти: 1) встановлення такого тиску газу в у вимірювальній пневматичній камері, при якому бульбашки газу, що проходять через рідину та у стакані візуального спостереження, проходили би з розривом на всьому діапазоні вимірювань рівня; 2) п'єзотрубка не повинна доходити до дна резервуара \cong на 80мм.

Витрати повітря встановлюються мінімально можливими для максимально можливого рівня рідини, с тим щоб перепад тиску на п'єзотрубці був якомога меншим, так як це визначає похибку вимірювання п'єзометричним методом. Як правило, витрати повітря таких приладів складають 0.1 – 0.2 м³/год.

Подібні прилади, наприклад, ПТЕ-4 використовуватися для вимірювання рівня агресивних та забруднених рідин, рідин, що швидко кристалізуються, а

також в щільних витратомірах. Прилади забезпечують точність вимірювання в межах 1,5 – 2,5 % від діапазону вимірювання.

Акустичні рівнеміри

За принципом дії акустичні рівнеміри можна поділити на: локаційні; поглинання та резонансні.

У **локаційних** рівнемірах використовується ефект відбиття ультразвукових коливань від границі розділу рідина - газ. Значення рівня визначається за часом проходження ультразвукових коливань від джерела до приймача після відбиття їх від поверхні розділу. У **рівнемірах поглинання** положення рівня визначається за послабленням інтенсивності ультразвуку при проходженні через шари рідини і газу. У **резонансних рівнемірах** визначення рівня відбувається через вимірювання частоти власних коливань стовпа газу над рідиною, яка залежить від рівня цієї рідини.

Найбільшого поширення набули локаційні рівнеміри, в яких використовується метод ехо-локації рівня рідини або поверхні сипкого матеріалу через газове середовище. Принцип дії акустичних (ультразвукових) рівнемірів заснований на властивості коливань відбиватися від границі розподілу середовищ із різним акустичним опором. У рівнемірах, як правило, використовується метод імпульсної локації границі розподілу газ - рідина (сипучий матеріал) з боку газу. Мірою рівня в цьому випадку є час поширення ультразвукових коливань від джерела випромінювань до площини (границі) розподілу й назад.

Швидкість звуку у твердих тілах (у м/с)

$$c_3 = \sqrt{E/\rho}, \quad (6.6)$$

де E — модуль пружності, Па; ρ — густина матеріалу, кг/м³.

Швидкість звуку в рідинах (у м/с):

$$c_3 = \sqrt{k/\rho} = \sqrt{1/\chi\rho}, \quad (6.7)$$

де $k=1/\chi$ — модуль всебічного стиску, Па; χ — коефіцієнт стиску, м²/Н; ρ — щільність рідини, кг/м³.

Швидкість звуку в газах

$$c_3 = \sqrt{\chi p/\rho} = \sqrt{\chi RT}, \quad (6.8)$$

де p — тиск газу, Па; ρ — щільність газу, кг/м³; R — газова стала, Дж/(кг*К); T — температура газу, К.

Як видно з наведених формул, у всіх випадках швидкість звуку залежить від температури, тому що вона виражається через щільність, що у свою чергу сильно залежить від температури. До достоїнств ультразвукових рівнемірів варто віднести нечутливість їх до зміни властивостей вимірюваного середовища, великий температурний діапазон, висока надійність і точність вимірювань. На рис. 6.5 наведена структурна схема рівнеміра, що застосовується для вимірювання рівня неоднорідних рідин, що кристалізуються і випадають в осад. Діапазон вимірювання рівня 0—3 м; клас точності 2,5; температура контролюваного середовища 10—80° С; тиск середовища 0,6—4 МПа.

При роботі рівнеміра генератор електричних імпульсів 2 виробляє електричні імпульси з певною частотою повторення, які перетворюються за

допомогою акустичного вимірювального перетворювача 1 в ультразвукові коливання, випромінювані в напрямку вимірюваного рівня. Цей перетворювач виконується зі спеціальної п'єзокераміки (титанату барію). Ультразвукові імпульси, перетворені з електричних, поширюються вздовж акустичного тракту, досягають рівня розподілу середовищ і, відбиваючись від нього, вертаються назад до перетворювача 1, за допомогою якого відбувається зворотне перетворення з акустичних коливань в електричні.

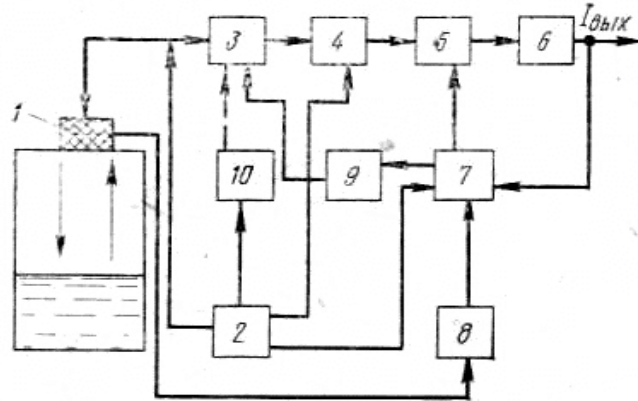


Рис. 6.5. Структурна схема акустичного (ультразвукового) рівнеміра

Таким чином, рівень матеріалу в ємкості визначають за часом запізнювання відбитого сигналу, щодо поданого (у с), тобто, $\tau = 2H/c_3$, (6.9)

де H - відстань від випромінювача до матеріалу, м; c_3 — швидкість поширення звуку в середовищі, що перебуває над матеріалом, м/с.

Потім електричні імпульси підсилюються й формуються за допомогою підсилювача-формуєча 3, від якого вони подаються на схему вимірювання часу відбитого сигналу 4, де відбувається перетворення цього сигналу в часовий інтервал, пропорційний значенню вимірюваного рівня. За допомогою блоку порівняння 5, що підсилювально-перетворювального пристрою 6 і пристрою зворотного зв'язку 7 цей сигнал перетвориться у вихідний електричний сигнал шляхом автоматичного спостереження за тривалістю імпульсів від тригера схеми вимірювання часу 4. При цьому прямокутні імпульси зі схеми вимірювання часу 4 і з ланцюга пристрою зворотного зв'язку 7 подаються в схему блоку порівняння 5, у якій відбувається їхнє порівняння по тривалості.

Якщо тривалість імпульсу зі схеми вимірювання часу (тригера) 4 більша або менша імпульсу з ланцюга зворотного зв'язку 7, на вході блоку порівняння 5 з'являється сигнал розбалансу, що за допомогою підсилювально-перетворюючого пристрою 6 збільшує або зменшує величину вихідного сигналу. Для зниження впливу температури газового середовища в ємності, де відбувається вимірювання, на результати вимірювання передбачається температурна компенсація за допомогою блоку 8. У рівнемірі передбачений також спеціальний перешкодозахисний пристрій 9, що виключає вплив різного роду перешкод на результати вимірювань. Блок контролю 10 служить для забезпечення контролю працездатності рівнеміра в цілому та окремих вузлів його електричної схеми.

Лекція №11

Тема: Загальні положення. Класифікація витратомірів.

Мета: оволодіти знаннями про класифікацію витратомірів.

Методи: словесний, практичний, наочний

План:

- 1 Загальні положення при вимірюванні витрат
- 2 Класифікація витратомірів
- 3 Первинні вимірювальні перетворювачі (ПВП) витрати змінного та постійного перепаду

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки, слайди

Література:

- 1 Є.С. Поліщук Метрологія та вимірювальна техніка Львів Видавництво «Бескид Біт» 2003р 544с.
2. В.В. Кухарчук Метрологія та вимірювальна техніка Вінниця УНІВЕРСУМ 2004 -252с.
- 3 Е.М. Душин Основы метрологии и электрические измерения Л.; Энергоатомиздат, 1987-480с.
- 4 С.А. Спектор Электрические измерения физических величин Л.; Энергоатомиздат, 1987 -320с

КЛАСИФІКАЦІЯ ВИТРАТОМІРІВ.

Під час управління технологічними процесами необхідно точно відмірювати (дозувати) кількість сировини, продуктів або напівфабрикатів, а також визначати витрати води, водяної пари, газу, інших рідинних, газоподібних та твердих речовин за одиницю часу.

Витратою називається кількість речовини (рідини або газу), що пройшла через поперечний переріз транспортного пристрою за одиницю часу. Розрізняють об'ємну (Q_o) і масову (Q_m) витрати речовини. Прилади, які вимірюють витрату, називаються витратомірами. **Одиницями вимірювання об'ємної витрати** є $m^3/год$; $m^3/сек$, а **масової витрати** - $т/год$; $кг/год$; $кг/сек$.

Зв'язок між цими одиницями: $Q_m = Q_o \cdot \rho_{реч.}$, де $\rho_{реч.}$ – густина речовини.

За принципом дії витратоміри поділяють на витратоміри сипких матеріалів та рідин і газів. Останні в свою чергу ділять на:

- лічильники рідин та газів;
- витратоміри змінного та постійного перепаду тиску;
- індукційні витратоміри;
- витратоміри змінного рівня (щільні).

Для вимірювання об'єму або маси речовини застосовуються також лічильники кількості. Для вимірювання маси твердих та сипких матеріалів застосовуються вагові лічильники; дозування сипких та рідинних речовин проводиться об'ємними та ваговими дозаторами.

Первинні вимірювальні перетворювачі (ПВП) витрати змінного та постійного перепаду тиску відносяться до дросельних перетворювачів, тобто, перетворювачів, які дещо звужують основний потік рідини або газу в трубопроводі. Принцип дії таких перетворювачів ґрунтується на законі стаціонарного руху ідеальної рідини Данила Бернуллі: «Якщо зменшити поперечний переріз труби, то швидкість руху рідини або газу в цьому місці зростає, а тиск зменшується», тобто, виникає різниця тисків (Δp) в речовині в місцях до звуження та відразу після звуження.

Суть закону в тому, що під час протікання речовини через звужуючий пристрій частина потенційної енергії потоку переходить у кінетичну, при цьому середня швидкість потоку в звуженому перетині підвищується, а тиск зменшується. Різниця цих тисків (Δp) залежить від швидкості речовини і буде тим більша, чим більша витрата речовини, що протікає.

В залежності від того, як використовується різниця тисків (Δp), ПВП, що ґрунтуються на законі Бернуллі, ділять на змінного та постійного перепаду тиску. В ПВП змінного перепаду тиску для визначення витрати речовини використовують звужуючий пристрій (діафрагму, сопло), який не змінює своє положення, і вимірюють дифманометром різницю тисків до та після звужуючого пристрою. В ПВП постійного перепаду тиску в якості звужуючого пристрою використовується поплавков, який змінює своє положення в спеціальній конічній трубці, що забезпечує постійність різниці тисків під і над поплавком.

Мірою витрати є висота зависання поплавка у трубці.

Закон описують два рівняння Бернуллі.

Перше рівняння - це рівняння зберігання енергії рухомої рідини:

$$\frac{P_1^1}{\rho_1} + \frac{V_1^2}{2} = \frac{P_2^1}{\rho_2} + \frac{V_2^2}{2}; \quad (7.4)$$

Друге – це рівняння нерозривності течії:

$$\rho_1 * V_1 * S_1 = \rho_2 * V_2 * S_2, \quad (7.5)$$

де у обох формулах: P_1^1 та P_2^1 - абсолютні статичні тиски до і після звуження, Па; V_1 та V_2 - середні швидкості речовини до і після звуження, м/с; S_1 та S_2 - поперечний переріз потоків, при чому S_2 - в найбільш звуженому місці, м²; ρ_1 та ρ_2 густина речовини, кг/м³.

Одним з найбільш поширених методів вимірювання витрати рідини, газу та пари є **метод змінного перепаду тиску**, оснований на вимірюванні різниці тисків, яка створюється будь-яким звужуючим пристроєм, встановленим в трубопроводі на шляху руху речовини. Таким чином, під час протікання речовини утворюється різниця тисків до і після звужуючого пристрою.

На рис.7.6 показано профіль руху потоку через діафрагму, завихрення, а також розподіл тиску по довжині трубопроводу.

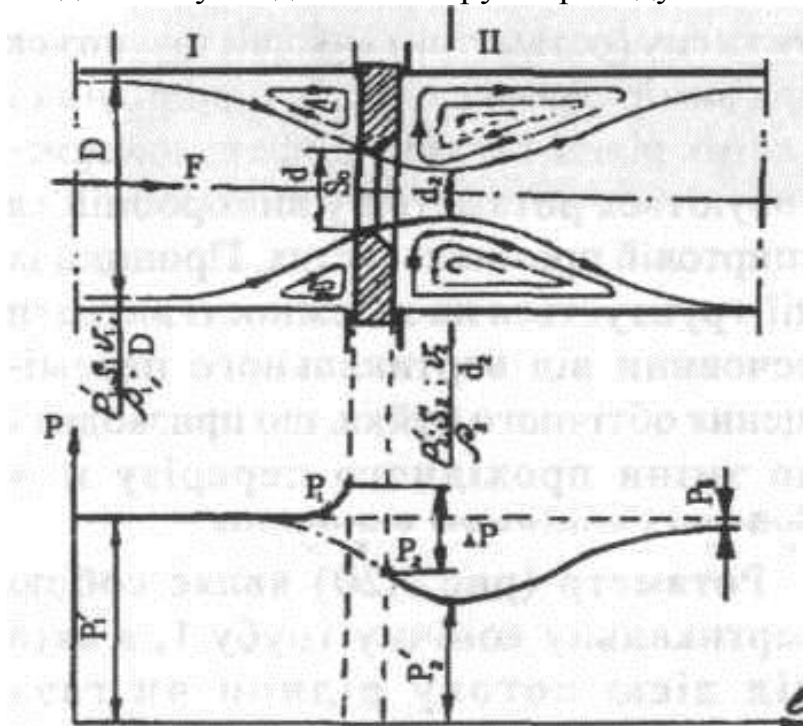


Рис. 7.6. Профіль руху потоку речовини через діафрагму.

Потік F звужується перед діафрагмою, проходить діафрагму і по інерції ще зменшується в перерізі на певній віддалі за діафрагмою, а вже потім зростає в перерізі і поступово заповнює весь переріз трубопроводу. Перед діафрагмою і за нею утворюються зони з вихровим зустрічним рухом відносно основного потоку. Завихрення за діафрагмою значно більші, ніж перед нею. Тиск потоку перед діафрагмою дещо зростає за рахунок підпору перед діафрагмою.

Основу дросельних вимірювальних перетворювачів (витратомірів змінного перепаду тиску) складає безпосередньо звужуючий пристрій (діафрагма), який має спеціальні виводи в кутах (до і після діафрагми) для під'єднання імпульсних трубок, що забезпечують відведення тисків P_1 та P_2 на входи дифманометра, який є вторинним приладом витратоміра. Відповідно,

стаціонарні тиски P_1^1 та P_2^1 дещо відрізняються від тисків P_1 та P_2 місць відведення, але ця відмінність легко компенсується поправочним коефіцієнтом. Так як густина речовини до і після звужування не змінюється ($\rho_1 = \rho_2 = \rho$), то отримуємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} P_1 - P_2 = \frac{\rho}{2} (V_1^2 - V_2^2) \\ V_1 * S_1 = V_2 * S_2. \end{cases} \quad (7.6)$$

Система рівнянь справедлива, якщо V_2 не перевищує швидкості розповсюдження звуку в речовині. Розв'язуючи систему відносно швидкості V_2 отримуємо:

$$V_2 = \left(\sqrt{1 - \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^2} \right) \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_1 - P_2)}, \quad (7.7)$$

і, відповідно, можемо визначити об'ємну витрату Q , визначивши добуток швидкості V_2 на переріз S_2 потоку:

$$Q = \frac{S_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^2}} \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_1 - P_2)} \text{ (м}^3\text{/с)}. \quad (7.8)$$

В перетворювачах змінного перепаду тиску замість перерізу потоку F_2 використовують площину S_0 звужувального пристрою, тому формула об'ємної витрати приймає вид:

$$Q = \alpha S_0 \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_1 - P_2)}, \quad (7.9)$$

де α - постійний коефіцієнт витрати для даної речовини, що залежить від діаметру трубопроводу, який визначає F_1 , і типу звужуючого пристрою, а також фізичних властивостей потоку (так званого числа Рейнольдса Re_ρ , яке є основною характеристикою протікання (течії) рідини).

Витратоміри змінного перепаду тиску є найпоширенішими при вимірюванні витрати рідини, пари і газу. Типи звужучих пристроїв, які використовуються для зменшення поперечного перерізу труби, показані на рис.7.5. В якості звужучих пристроїв, крім діафрагм, використовуються нормальні сопла (рис. 7.5 в, м, н), подовжені та короткі сопла Вентурі (рис. п, с, т) і нестандартні

пристрої з гідравлічним опором (крани, клапани, заслінки, теплообмінники та ін.).

Комплект такого витратоміра включає в себе звужувальний пристрій, з'єднувальну (імпульсну) лінію, диференційний манометр (дифманометр) з тим або іншим передавальним перетворювачем і вторинний прилад.

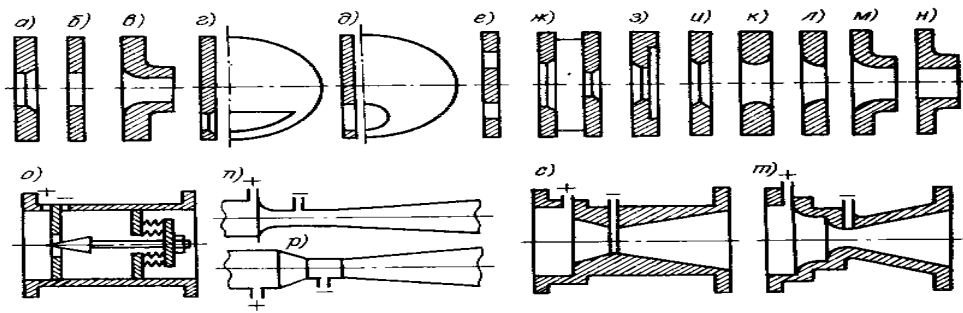


Рис. 7.5. Типи звужуючих пристроїв: у верхньому рядочку показані типи діафрагм та нормальних сопел, а в нижньому – сопла Вентурі.

Витратоміри постійного перепаду тиску або ротаметри застосовуються для вимірювання витрати чистих та малозабруднених рідин і газів, що протікають у трубопроводах без значних коливань витрати, особливо широко в спиртовому, виноробному, пиво-безалкогольному та інших виробництвах.

У ПВП перетворювачах витрати постійного перепаду тиску (ротаметрах, їх ще називають приладами обтікання) в середині конічної трубки, що розширюється до гори, знаходиться поплавок, який має особливу форму: знизу – конус, угорі – невеликий обідок зі скісними пазами, і який знаходиться під дією динамічного тиску потоку вимірюваного середовища. Конічна трубка такого первинного вимірювального перетворювача розташовується в місці вимірювання витрати завжди вертикально. Скісні пази на поплавок приводять до його обертання під час проходження речовини трубкою, щоб він не торкався її стінок і знаходився в центрі потоку. Слово ротаметр походить від латинського «roto» – обертаюсь, а весь прилад називають ротаметр.

У місці розташування поплавка поперечний переріз трубки зменшується на значення площі поперечного перерізу поплавка (в найбільшому по діаметрі його місці).

Якщо витрата зростає, то згідно з законом Бернуллі для стаціонарного руху речовини, в разі зменшення поперечного перерізу трубки, швидкість рідини чи газу в цьому місці зростає, а тиск зменшується. Тому тиск P_2 над поплавком (рис. 7.6) стає меншим, ніж тиск P_1 під ним. Збільшується ΔP (із-за збільшення тиску P_1 напорі рідини знизу) і поплавок починає підніматись вгору, але при цьому розширюється кільцеподібний зазор між ним та стінками трубки, в наслідок чого зменшується дросельний ефект від присутності поплавка, тобто, зменшується швидкість рідини в зазорі, що приводить до зростання тиску P_2 та відновлення перепаду тиску ΔP до початкового значення, яке залежить від сили тяжіння поплавка. Піднімання поплавка припиняється. При зменшенні витрати має місце обернений ефект. Таким чином, кожному значенню витрати

відповідає певна висота підйому поплавка. У відповідності із визначенням - основу ротаметру складає трубка 1 (рис. 7.6), як правило, скляна, з внутрішньою конічною поверхнею, в середині якої розміщують поплавок 2. Переміщення поплавка відбувається до тих пір, поки перепад тиску не зрівняється з масою поплавка, що приходить на одиницю площини його поперечного перерізу.

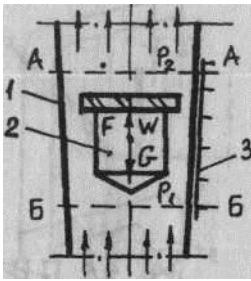
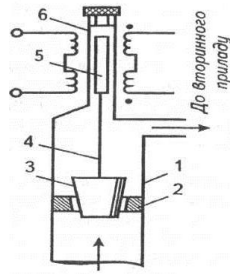


Рис.7.6



а)



б)

Рис. 7.7. Ротаметри з ДТП а) та Sitrans FVA Troglux
Зверху вниз діє сила G тяжіння поплавця:

$$G = V_n (\rho_n - \rho) g, \quad (7.10)$$

де g – прискорення вільного падіння; V_n та ρ_n - об'єм і густина поплавка; ρ - густина рідини, що проходить крізь ротаметр.

Знизу вверх на поплавець діють сила тертя середовища об поплавки, якою можна нехтувати, та сила F , яку утворює середовище, яке протікає через ротаметр, і яка визначається різницею статичних тисків ($P_1 - P_2$), які виникли внаслідок прискорення потоку в кільцевому зазорі між стінкою і поплавцем:

$$F = (P_1 - P_2) f_n; \quad (7.11)$$

де f_n — площа поперечного перерізу поплавка у місці його найбільшого діаметру.

Поплавок буде нерухомим у потоці рідини або газу, якщо виконуватиметься умова рівноваги сил, що діють знизу і зверху:

$$G = (P_1 - P_2) F_n. \quad (7.12)$$

З іншого боку можемо записати:

$$P_1 - P_2 = G / F_n = \frac{V_n (\rho_n - \rho) g}{f_n}. \quad (7.13)$$

А це означає, що при постійній густині речовини, права частина формули є незмінною і не залежить від витрати речовини. Відповідно незмінним є перепад тиску $P_1 - P_2$. Звідси і інша назва ротаметрів як приладів постійного перепаду тиску.

Швидкість V обтікання речовиною поплавка у кільцеподібному зазорі між ним і стінками трубки дорівнює:

$$V = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho}}. \quad (7.14)$$

Звідси
$$P_1 - P_2 = \Delta P = \frac{V^2 * \rho}{2}. \quad (7.15)$$

Прирівнюючи залежності 7.13 та 7.15, можемо визначити швидкість речовини в кільцеподібному зазорі:

$$V = \sqrt{\frac{2g V_n (\rho_n - \rho)}{\rho * F_n}}. \quad (7.16)$$

Ця швидкість визначає об'ємну витрату Q вимірюваної речовини, що проходить через кільцеподібний зазор поперечного перерізу F_k :

$$Q = V * F_k = \varphi F_k \sqrt{\frac{2g V_n (\rho_n - \rho)}{\rho * F_n}}. \quad (7.17)$$

Із наведеного рівняння випливає, що за коефіцієнта витрати $\varphi = \text{const}$, існує лінійна залежність між величинами Q і F_k , який в свою чергу пропорційний висоті зависання поплавка. Проте за конічної форми трубки лінійна залежність

між значенням Q і переміщенням поплавця порушується через нелінійну залежність F_k по висоті трубки. Крім того, в реальних умовах дещо змінюється величина φ . Тому використання рівномірної шкали для ротаметрів зумовлює частку загальної похибки вимірювань.

Із останнього рівняння випливає також, що положення поплавця залежить не тільки від витрати, а і від густини контрольованого середовища. З цього боку ротаметри розділяються на дві групи: для рідин які градуують на воді, і для газів, які градууються на повітрі.

Корпус ротаметра являє собою скляну конічну трубку, на зовнішній поверхні якої нанесена шкала. Показчиком є верхня горизонтальна площина поплавця. Матеріал поплавка — сталь, алюміній, бронза, ебоніт, пластмаси — не повинен піддаватися корозії в контрольованому середовищі і повинен мати добру здатність виділятися в потоці контрольованого середовища. Відхилення густини, тиску та температури вимірюваної за витратами речовини проводить до додаткових похибок вимірювання.

В деяких типах ротаметрів (рис.7.7,а) конічним роблять поплавок 3, який переміщується в середині діафрагми постійного поперечного перерізу 2. Але принципової різниці між такими ротаметрами не має. На цьому ж рисунку приведена схема ротаметра з диференціально-трансформаторним перетворювачем, який дозволяє передавати сигнал вимірювальної інформації на відстань.

Вимірювальна частина витратоміра з диференціально-трансформаторним перетворювачем складається з циліндричного металевого корпусу 1 з діафрагмою 2. Усередині діафрагми переміщується конусний поплавок 3, насаджений на шток 4. Під дією потоку рідини поплавок може переміщуватися в отворі діафрагми. На верхньому кінці штоку закріплено осердя 5 диференційно-трансформаторного перетворювача. Осердя переміщується усередині трубки 6, зовні якої знаходиться котушка перетворювача.

Витратомір постійного перепаду тиску типу Sitrans FVA Trogflux фірми «Siemens» (рис. 7.7,б) призначений для вимірювання об'ємів прозорих потоків рідин та газів в закритих трубопроводах. Прилад проградуирований для рідин з питомою вагою 1 кг/л. Для всіх інших речовин шкалу необхідно перераховувати. Основні технічні характеристики Trogflux:

1. Температурний діапазон: 60°C (для води 50°C).
2. Клас точності: 2,5.
3. Межа вимірювань при тисках до 10 бар: для рідин – від 12,5 л/год до 25 м³/год; для газів – від 200 л/год до 430 м³/год.

Лекція №12

Тема: Індукційні витратоміри

Мета: оволодіти знаннями про індукційні витратоміри

Методи: словесний, практичний, наочний

План:

- 1 Принцип дії магніто-індукційних витратомірів
- 2 Принципова схема магніто-індукційних витратомірів
- 3 Метрологічні характеристики

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки, слайди

Література:

- 1 Є.С. Поліщук Метрологія та вимірювальна техніка Львів Видавництво «Бескид Біт» 2003р 544с.
2. В.В. Кухарчук Метрологія та вимірювальна техніка Вінниця УНІВЕРСУМ 2004 -252с.
- 3 Е.М. Душин Основы метрологии и электрические измерения Л.; Энергоатомиздат, 1987-480с.
- 4 С.А. Спектор Электрические измерения физических величин Л.; Энергоатомиздат, 1987 -320с

Індукційні витратоміри

Принцип дії всіх магніто-індукційних витратомірів ґрунтується на явищі, яке описується законом електромагнітної індукції Фарадея. Суть явища електромагнітної індукції і закону Фарадея полягає в тому, що під час переміщення будь-якого провідника у магнітному полі на його кінцях виникає індукована електрорушійна сила U_m , яка пропорційна довжині L провідника, швидкості переміщення V , магнітній індукції B та синусу кута α між магнітною індукцією та напрямком швидкості:

$$U_m = B V L \sin \alpha \quad (7.18)$$

На рис.7.8,а приведена узагальнена схема індукційного первинного вимірювального перетворювача витрати, де зображено електромагніт, який збуджується змінним струмом I (напругою збудження $U_{збудж}$) і який на ділянці між полюсами створює рівномірне однорідне магнітне поле з індукцією B . Розміщення обмоток збудження електромагніту показано і на рис.7.8,б та рис.7.8,в. В полі магніту розміщена немагнітна труба, по якій протікає вимірювана по витратам рідина з швидкістю V . В індукційних витратомірах рухомим провідником є електропровідна рідина, витрати якої вимірюють. Магнітна індукція B пронизує рідину вертикально відносно напрямку її потоку ($\sin \alpha = \sin 90^\circ = 1$), і в рідині, як у рухомому провіднику, наводиться (індукується) електрорушійна сила U_m .

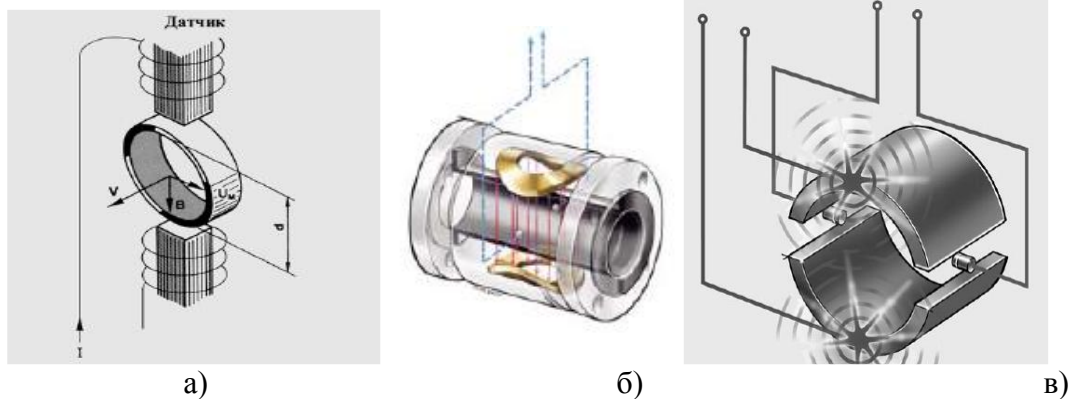


Рис. 7.8.Принципова схема будь якого магніто-індукційного сенсора

Значення цієї електрорушійної сили знімається з двох точкових електродів, що розміщуються на протилежних кінцях внутрішнього діаметру немагнітної труби і зсунуті по відношенню до обмоток збудження на 90° (рис.7.8б та в). Електроди контактують з вимірюваною за витратами рідиною, але ізольовані від труби, яка виготовляється, як правило, із нержавіючої сталі.

В загальному, індукована в рідині ЕРС дорівнює:

$$U_m = B * V * d, \quad (7.19)$$

де B – магнітна індукція, тл; V - швидкість потоку, м/с; d – довжина рідинного провідника, що відповідає довжині провідника L по залежності (7.18) і дорівнює діаметру трубопроводу, м.

Витрати рідини у трубопроводі дорівнюють добутку площі перетину трубопроводу на швидкість потоку V :

$$F = S * V . \quad (7.20)$$

У результаті спільного розв'язання рівнянь (2) та (3) отримуємо:

$$F = S \left(\frac{U_m}{B \cdot d} \right) = \left(\frac{\pi d^2}{4} \right) \cdot \left(\frac{U_m}{B \cdot d} \right) = k \cdot U_m, \quad (7.21)$$

де k — коефіцієнт пропорційності (постійна сенсора), який залежний від конструкції приладу.

Таким чином, витрата рідини у трубопроводі, вимірювана за допомогою індукційного витратоміра, буде пропорційна ЕРС U_m . Сигнал первинного перетворювача індукційного витратоміра містить, крім корисної складової, що визначається формулою (1) і є мірою витрати, трансформаторну ЕРС, що наводиться електромагнітним полем перетворювача в рухомому рідинному провіднику. Трансформаторна ЕРС зсунута по фазі відносно корисного сигналу на 90° і компенсується за допомогою ланцюга, що складається із спеціального подільника напруги.

Магніто- індукційний витратомір Sitrans FM MAG 6000 фірми «Siemens» є керуємим мікропроцесорним вимірювальним перетворювачем з вбудованою текстовою індикацією режиму налаштування та роботи на 11-ти мовах. В залежності від місця розташування витратоміра, він виконується в вигляді або компактного приладу (рис. 7.9,а), або у вигляді двох блоків: сенсора MAGFLO та вторинного вимірювального перетворювача MAG 6000 (мікропроцесорного блоку живлення та обробки, рис. 7.9,б). Останній може бути розташований на відстані на щиті.

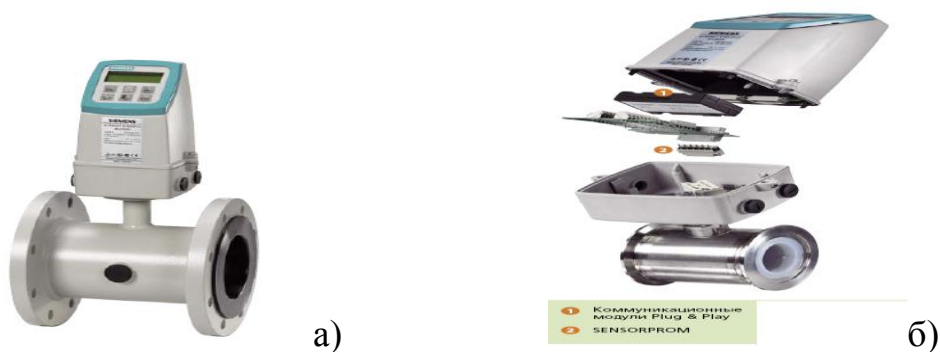


Рис. 7.9 Індукційний витратомір Sitrans FM MAG 6000 фірми «Siemens».

Комплект Sitrans FM MAG 6000 призначений для вимірювання витрати потоку практично всіх електропровідних рідин, а також суспензій та паст. Єдиною умовою його нормальної роботи є наявність хоча б мінімальної (5 мікросим/см) електропровідності в середовищі, витрати якого вимірюють.

Температура, тиск, в'язкість та густина рідини не впливають на результати вимірювань.

Витратомір здійснює вимірювання витрати агресивних та частково абразивних середовищ за умови правильного вибору матеріалу внутрішньої труби та електродів. Тверді частинки, що попадають у вимірювальний перетворювач одночасно з вимірюваним середовищем (рідиною), як правило не впливають на результати вимірювань. Максимальна похибка вимірювання для **MAG 6000** складає - 0,25% от від верхньої межі вимірювання витрати, враховуючи похибку первинного вимірювального перетворювача.

Лекція №13

Тема: Методи вимірювання густини рідин

Мета: оволодіти знаннями про методи вимірювання густини рідин

Методи: словесний, практичний, наочний

План:

- 1 Вимірювання густин рідин
- 2 Методи вимірювання густини рідин
- 3 Поплавкових густиномір

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки, слайди

Література:

- 1 Є.С. Поліщук Метрологія та вимірювальна техніка Львів Видавництво «Бескид Біт» 2003р 544с.
2. В.В. Кухарчук Метрологія та вимірювальна техніка Вінниця УНІВЕРСУМ 2004 -252с.
- 3 Е.М. Душин Основы метрологии и электрические измерения Л.; Энергоатомиздат, 1987-480с.
- 4 С.А. Спектор Электрические измерения физических величин Л.; Энергоатомиздат, 1987 -320с

ВИМІРЮВАННЯ ГУСТИНИ РІДИН. КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ГУСТИНОМІРІВ

Густина рідини часто є однією з основних характеристик продукту окремих дільниць технологічних процесів, наприклад, соку випарної станції, або готовності кінцевої продукції — спирту, молокопродуктів.

Густина ρ (має розмірність в системі СІ - $\text{кг}/\text{м}^3$) і є відношенням одиниці маси речовини m до одиниці її об'єму V : $\rho = m/V$.

Густина рідин суттєво залежить від температури і, як правило, зменшується із зростанням останньої: $\rho_2 = \rho_1 [1 - \beta (t_2 - t_1)]$, де ρ_1 і ρ_2 — густини за температур t_1 і t_2 , $\text{кг}/\text{м}^3$; β — середнє значення коефіцієнта об'ємного розширення в діапазоні температури t_1 і t_2 , $[1/^\circ\text{C}]$. Тому густину прийнято вимірювати за температури 20°C . Якщо температура рідини відрізняється від цього значення, то температурна похибка компенсується спеціальними пристроями або в результаті вимірювань вноситься поправка.

За принципом дії густиноміри поділяються на поплавцеві, гідростатичні (п'езометричні), вагові (пікнометричні), акустичні (ультразвукові), оптичні, радіоізотопні, тощо.

Принцип роботи поплавкових густиномірів ґрунтується на законі Архімеда, тобто, на залежності виштовхувальної сили P_B , що діє на занурений поплавок (буйок), від ваги об'єму розчину, що витискається цим поплавком:

$$P_B = V_n \cdot \rho \cdot g, \quad (8.1)$$

де V_n — об'єм поплавка, зануреного у рідину, м^3 ; ρ — густина рідини, $\text{кг}/\text{м}^3$; g — прискорення вільного падіння, $\text{м}/\text{с}^2$.

На поплавок діє різниця ΔP сили ваги поплавка G та Архімедової сили:

$$\Delta P = G - P_B. \quad (8.2)$$

Поплавкові густиноміри бувають з частково та повністю зануреним у рідину датчиком-поплавком.

До перших належать так звані аріометри, у яких глибина занурення поплавця в розчин обернено пропорційна густині останнього які використовують для епізодичних вимірювань в лабораторіях. Діапазон вимірювань $1000 - 1400 \text{ кг}/\text{м}^3$. Клас точності — 2,0.

Аналізатори другого типу називаються **буйковими густиномірами**. На рис.8.1,а) зображена схема буйкового густиноміра з диференціально-

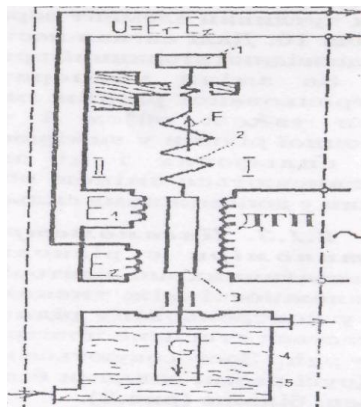


Рис. 8.1 Густиноміри: а) буйковий з ДТП та б) – гідростатичний.

трансформаторним перетворювачем ДТП. Чутливий елемент (буйок) 5 знаходиться в об'єкті вимірювань 4 і занурений в контрольовану рідину. Буйок з'єднаний із осердям 3 ДТП, який має первинну I та вторинну II обмотки. Остання має дві секції з однаковою кількістю витків, але включених зустрічно. Буйок та осердя ДТП підвішені на пружині 2, сила пружності якої F зрівноважує силу ваги буйка в рідині:

$$G = F = k \Delta l, \quad (8.3)$$

де k — коефіцієнт жорсткості пружини, Н/мм; Δl — деформація пружини, мм.

Залежно від густини розчину змінюється сила ΔP буйка в рідині і відповідно, деформація пружини та положення осердя ДТП, а також вихідний сигнал ДТП $U = E_1 - E_2$, де E_1 і E_2 — величини індукованих електрорушійних сил (е.р.с.) у секціях вторинної обмотки ДТП. Змінюючи гвинтом 1 положення пружини 2, встановлюють початок діапазону вимірювань, а верхня межа вимірювань залежить від параметрів буйка та характеристики пружини.

Такий датчик можна застосувати у комплекті з будь-яким іншим перетворювачем, наприклад електро- або пневмо-силовим, магнітним, тощо. Від цього залежить тип вторинного приладу. Як правило клас точності такого густиноміра 1,0 — 2,0.

Лекція №14

Тема: Методи вимірювання вологості

Мета: оволодіти знаннями про методи вимірювання вологості

Методи: словесний, практичний, наочний

План:

- 1 Загальні положення
- 2 Методи вимірювання вологості
- 3 Сорбційний метод вимірювання вологості

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки, слайди

Література:

- 1 Є.С. Поліщук Метрологія та вимірювальна техніка Львів Видавництво «Бескид Біт» 2003р 544с.
2. В.В. Кухарчук Метрологія та вимірювальна техніка Вінниця УНІВЕРСУМ 2004 -252с.
- 3 Е.М. Душин Основы метрологии и электрические измерения Л.; Энергоатомиздат, 1987-480с.
- 4 С.А. Спектор Электрические измерения физических величин Л.; Энергоатомиздат, 1987 -320с

Методи вимірювання вологості

Вологість повітря, газів, твердих та сипких матеріалів необхідно контролювати в ході різних технологічних процесів, а також під час зберігання продуктів в складських приміщеннях та холодильних камерах.

Вміст вологи в газовому середовищі характеризується абсолютною або відносною вологістю.

Абсолютна вологість газового середовища - це масова кількість (концентрація) водяної пари, що міститься в 1 м^3 газового середовища. Одиниці вимірювання абсолютної вологості: $\text{кг}/\text{м}^3$ або $\text{г}/\text{м}^3$.

Відносна вологість газового середовища ($\psi, \%$) або степінь його насичення - це відношення абсолютної вологості газового середовища M_A певного об'єму до масової концентрації (кількості) водяної пари M_H , яка насичує це середовище за даної температури.

$$\psi = \frac{M_A}{M_H} 100\%. \quad (8.7)$$

Для вимірювання вологості газових середовищ найбільше використовуються методи: сорбційний, точки роси та психрометричний.

Суть сорбційного методу полягає у використування властивості деяких речовин, із пористою структурою, поглинати вологу на поверхню цих пор із навколишнього газового середовища. І ця поглинута волога знаходиться у стані рівноваги з вологістю контрольованого за вологістю середовища. Кількість води, що адсорбується на поверхні такого ПВП, збільшується із збільшенням вологості газового середовища. Одночасно з цим, змінюються механічні (довжина ПВП, що виготовлений, наприклад, із капронової нитки чи целофану), електричні (електричний опір чи ємність ПВП, який виготовлений, наприклад, із мікропористого ебоніту), масові, кольорові та інші властивості матеріалу (сорбенту), з якого виготовлений ПВП вологості.

В якості сорбентів використовують також пористе скло, кварц, оксидні алюмінієві плівки, плівки із йодистого срібла, кадмію чи свинцю, або спеціальні ПВП, що заповнені насиченим розчином хлористого літію. На рис.21 наведена схема чутливого елемента сорбційно-електролітичного вологоміра, насиченого розчином хлористого літію.

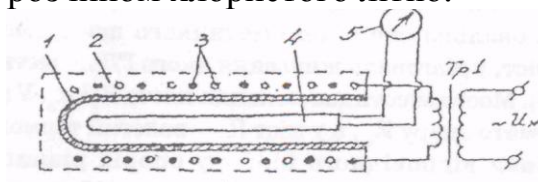


Рис.10.4. Схема літійового чутливого елемента

Принцип дії перетворювача ґрунтується на зміні його електричного опору залежно від вологості повітря і електропровідності шару, насиченого розчином хлористого літію. Чутливий елемент вологоміра являє собою корозійне стійку, покриту шаром скловати 2 сталеву трубку 1, насичену розчином хлористого літію. У складову вмонтовані два спіральноманотані електроди 3, до яких підведено електроживлення від понижувального трансформатора Тр1. Розчин хлористого літію є провідником, тому по поверхні чутливого елемента проходить струм і відбувається його нагрівання. Вода з розчину випаровується, опір зростає, струм зменшується, нагрівання і температура перетворювача зменшуються. Хлористий літій знову поглинає вологу із навколишнього

простору, і електропровідність перетворювача зростає, а температура збільшується. Після декількох таких коливань система перетворювача приходять у зрівноважений стан, що відповідає певній температурі. Ця температура, що пропорційна вологості навколишнього середовища, вимірюється малоінерційним термометром 4, розміщеним у середині трубки і ввімкненим у вимірювальний прилад 5.

Промисловістю випускаються сорбційно-електролітичні вологоміри типу БВ-4 з уніфікованим сигналом 0 — 5 мА.

Суть методу точки роси полягає у визначенні температури, за якої водяна пара, що є в контрольованому газі, за її охолодження досягає стану насичення, тобто починає конденсуватися. Точка роси — температура та тиск, за яких газ набуває стану насичення і випадає роса. Початок конденсації фіксується візуально (в лабораторних приладах) або за допомогою фотоелементів (в автоматичних вологомірах). Такі прилади ще називаються гігрометрами. Промисловістю випускає гігрометри типів ГП-215 та ГП-225 для контролю і сигналізації відносної вологості. Діапазон 10 — 100 %, клас точності — 4,0.

Особливістю автоматичних гігрометрів є наявність нагрівально-охолоджувального пристрою та фотооптичної системи для стеження за зміною точки роси.

Для вимірювання відносної вологості газових середовищ найбільше розповсюдження дістав **психрометричний метод** (від грецьких слів: «psychros» - холодний та метр), який ґрунтується на використанні психрометричного ефекту, відкритого німецьким фізиком Ернстом Августом (звідси - психрометр Августа). Суть ефекту у тому, що випаровування з поверхні зволоженого тіла і, як наслідок, ступінь його охолодження, тим інтенсивніші, чим менша відносна вологість газового середовища, де знаходиться тіло. При реалізації психрометричного методу вимірювання відносної вологості - порівнюються температури двох тіл – сухого та зволоженого. Різниця температур сухого t^c та зволоженого («мокрого» t^b тіла, яка називається психрометричною різницею, є, таким чином, функцією від відносної вологості газового середовища: $\psi = f(t^c - t^b)$ та визначається за виведеною напівемпіричною формулою:

$$\psi = \frac{P_B - A \cdot f(t^c - t^b)}{P_C}, \quad (8.8)$$

де P^b та P^c - тиск пари, яка насичує контрольоване за вологістю газове середовище при температурах відповідно сухого t^c та вологого t^b тіла (так званий - парціальний тиск); A – стала психрометра; P – атмосферний (барометричний тиск в середовищі. Парціальний тиск (від латинського «partials» - частинний) - це тиск компоненту (пари) ідеальної газової суміші, яке компонент здійснював би, якщо він займав би весь об'єм суміші.

При реалізації методу в психрометричному перетворювачі, в якості сухого та вологого тіл, використовують термометри опору, один із яких («вологий») зволожують за допомогою спеціальної гігроскопічної бавовняної тканини, кінець якої занурюють у посудину з дистильованою водою. Для створення стабільних умов випаровування, зволожене тіло (вологий термометр) має обдуватись, контрольованим за вологістю газовим середовищем (наприклад, оточуючим

повітрям), з певною постійною швидкістю, яка повинна дорівнювати, як правило, $\cong 4$ м/с.

Стала психрометра A залежить від конструкції психрометра, швидкості обдування зволоженого тіла (термометра) газовим середовищем та тиску в ньому. Значення психрометричної різниці залежить від температури газу в контрольованому середовищі, значення якої отримують за допомогою сухого термометра, а також від швидкості обтікання зволоженого тіла середовищем, вологість якого вимірюється.

Найбільший вплив па величину K створює швидкість обдування, але якщо вона перевищує 2,5 м/с, то значення K надалі залишається постійним. Тому автоматичні психрометри мають газові насоси, які забезпечують швидкість обдування 3 — 4 м/с.

Вимірювальна схема приладу (рис. 10.4) складається з двох мостів / і //, для яких плечі R_1 й R_2 загальні.

У плече одного моста включається "сухий" термометр R^{tc} , а в плече другого - "вологий" R^{tb} . Живляться мости від загального джерела живлення $U_{ж}$. У вимірювальній діагоналі aB мосту / виникає різниця потенціалів, пропорційна температурі "сухого" термометра R^{tc} , а в діагоналі $aс$ мосту // - температурі "вологого" R^{tb} . Через те, що температура "сухого" термометра завжди більша за температуру "вологого", то й сигнал $U_{aB} > U_{aс}$. Їх різниця $\Delta u = U_{aB} - U_{aс}$ подається на вхід електронного підсилювача ЕП, підсилюється та управляє рухом реверсивного двигуна РД. РД переміщує повзун реохорда R_p до тих пір, доки не настане рівновага системи. Шкала вимірювального приладу градується у відсотках відносної вологості.

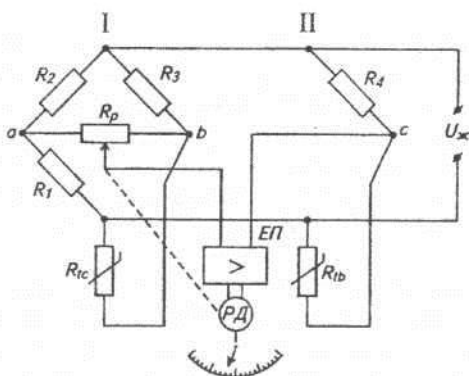


Рис. 10.4. Схема автоматичного психрометра

Промисловість випускає датчики автоматичних психрометрів типу ДВП-03 на діапазон відносної вологості 20 — 100 % і температуру навколишнього середовища 15 — 40 °С. Як вторинний прилад використовується зрівноважений міст. Клас точності комплекту — 2,5.

До сучасних вторинних мікропроцесорних приладів, що використовуються для обробки сигналів сухого та зволоженого термоперетворювачів опору, з метою розрахунку вологості, відноситься, наприклад, прилад МПР51 Щ4 фірми «Овен». Прилад виконує наступні функції: - вимірює температуру в камері по трьом каналам (каналу сухого термометра, вологого та температуру продукту; - вираховує два параметри (психрометричну різницю та вологість в камері; - виконує ПД-регулювання по двом каналам.

Лекція №15

Тема: Потенціометричний метод аналізу

Мета: оволодіти знаннями про потенціометричний метод аналізу

Методи: словесний, практичний, наочний

План:

- 1 Загальні положення вимірювання складу рідин
- 2 Вимірювання кислих або лужних функцій розчину
- 3 Потенціометричний метод аналізу
- 4 Первинний вимірювальний перетворювач рН-метрів

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки, слайди

Література:

- 1 Є.С. Поліщук Метрологія та вимірювальна техніка Львів Видавництво «Бескид Біт» 2003р 544с.
2. В.В. Кухарчук Метрологія та вимірювальна техніка Вінниця УНІВЕРСУМ 2004 -252с.
- 3 Е.М. Душин Основы метрологии и электрические измерения Л.; Энергоатомиздат, 1987-480с.
- 4 С.А. Спектор Электрические измерения физических величин Л.; Энергоатомиздат, 1987 -320с

ПОТЕНЦІОМЕТРИЧНИЙ МЕТОД

Потенціометричний метод аналізу складу рідин використовується у двох напрямках:

- вимірювання кислих або лужних функцій розчину;
- визначення моменту нейтралізації розчину при їх титруванні.

Кислотні або лужні властивості розчинів визначається по активності в них іонів водню $[H^+]$.

Суть явища визначається електролітичною дисоціацією і зв'язаною з нею теорією електродних потенціалів.

Дисоціація властива будь-якому розчину і пов'язана з утворенням в розчині електроіонів позитивних іонів (катіонів) і негативних іонів (аніонів). Більшість хімічних процесів відбувається в водних розчинів. Чиста вода являє собою нейтральну речовину, якій властиві в рівній мірі і кислотні і лужні властивості. Вона слабо дисоціює з утвореннями катіонів водню $[H^+]$ та аніонів гідроксилу $[OH^-]$:



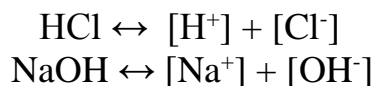
Так як молекула води є досить сталою хімічною сполукою, то концентрація іонів водню і гідроксилу, порівняно з концентрацією її недисоційованих молекул, складає для одних і других, які рівні між собою при температурі 22 °С, величину:

$$[H^+] = [OH^-] = 10^{-7} \text{ мг*іон/см}^3.$$

У відповідності із законом діючих мас добуток концентрації іонів водню та гідроксилу при даній температурі є величиною постійною і визначається константою K_w дисоціації води:

$$K_w = K [H_2O] = [H^+] \cdot [OH^-] \quad (9.4)$$

Кислоти та луги у водних розчинах теж дисоціюють: кислоти на катіони водню та аніони кислотного залишку, а луги – на катіони металу і аніони гідроксилу:



Якщо розчинити в нейтральному розчині іншу речовину і температуру розчину підтримувати незмінною, то величина 10^{-14} залишається постійною, але порушується рівновага і в розчині збільшується або кількість дисоційованих катіонів водню $[H^+]$ за рахунок зменшення аніонів гідроксилу $[OH^-]$, або навпаки, зростає кількість аніонів гідроксилу за рахунок зменшення катіонів водню. В першому випадку, коли $[H^+] > 10^{-7}$, розчин набуває кислотні властивості. В іншому випадку, коли $[H^+] < 10^{-7}$, розчин має лужні властивості.

Для зручнішого визначення концентрації іонів водню датський хімік Зеренсен ввів поняття водневого показника рН (p-Potenz – степінь, Н – хімічний символ водню). У відповідності з визначенням Зеренсена водневий показник рН – це десятковий логарифм концентрації іонів водню, взятий з від'ємним знаком:

$$pH = -\lg [H^+]. \quad (9.5)$$

Таким чином, концентрацією іонів водню $[H^+]$ можна охарактеризувати будь-який розчин, причому для нейтрального середовища рН дорівнює 7, для лужного – рН > 7, а кислого - рН < 7.

Дуже кислі розчини можуть мати рН = -1, -2, а концентровані луги рН > 14.

Вода є нейтральною тільки при температурі 22 °С. При підвищенні температури до 100°C вода набуває кислі властивості і її рН знижується до 6,12. За нульової температури вода набуває лужні властивості з рН=7,97.

Для водних розчинів діапазон зміни рН складає 0...14.

Потенціометричний метод аналізу складу рідин ґрунтується на вимірюванні потенціалу спеціального електроду, який занурений у контролює мий розчин. Величина потенціалу залежить від природи і концентрації (а вірніше – активності аналізованих іонів в розчині, та властивостей самого розчину) і визначається рівнянням закону Нернста, відкритого для металевих електродів, а пізніше поширеного на електроди інших речовин.

$$E_x = E_0 - \frac{RT}{nF} \ln a_{M^{n+}} \quad (9.6)$$

де n – валентність іонів металу; E^0 – нормальний потенціал електроду із певного металу і не залежить від концентрації іонів, В; R – універсальна газова стала = 8,31 Дж/моль*К; F – число Фарадея (постійна, яка визначає заряд грам-еквівалента-іонів) $F=96485$; T – абсолютна температура, К та значення потенціалу при температурі розчину 20°C.

Виникнення потенціалу пояснюється переходом іонів металу в розчин, а в стані рівноваги – переходом іонів металу в розчин і із розчину в електрод.

Якщо виразити через водневий показник рН, то формула прийме вигляд:

$$E_x = E_0 - 0.05806 \text{ рН}/n. \quad (9.7)$$

Так як на величину потенціалу вимірювального електроду головним чином впливає концентрація потенціаловизначаючих іонів (катіонів), які обмінюються з атомами металу електроду, то велике значення має вибір матеріалу електродів.

В якості вимірювальних електродів найбільш розповсюджені сурм'яні, скляні із нержавіючої сталі, платинові та срібні. Останні два використовуються при потенціометричному титруванні. Перші два використовують при визначенні концентрації водневих катіонів. Найбільше розповсюджені в рН-метрах скляні вимірювальні електроди, потенціалом яких зв'язані з показником рН лінійною залежністю.

Але виміряти різницю потенціалів тільки між одним вимірювальним електродом і розчином не можливо, так як при під'єднанні вимірювального приладу до розчину знову ж таки виникає різниця потенціалів між розчином та провідником, який з'єднує розчин з приладом. Відповідно різниця потенціалів, яку повинен виміряти прилад, буде дорівнювати нулю

Тому для утворення електричного ланцюга для вимірювання зрівноваженого поверхневого потенціалу в розчин вводять другий електрод, який називають допоміжним, або електродом порівняння. Потенціал порівняльного електроду в процесі вимірювання повинен бути незмінним, не залежати від концентрації речовин у розчині.

При визначенні концентрації розчинів за активністю іонів водню електричний ланцюг вимірювального перетворювача (вимірювальної комірки) складається із (рис. 11.6) вимірювального електроду 1 з допоміжним внутрішнім електродом 1', який необхідний для утворення електричного ланцюга, та допоміжного електроду 2, який також контактує з контролюємим розчином.

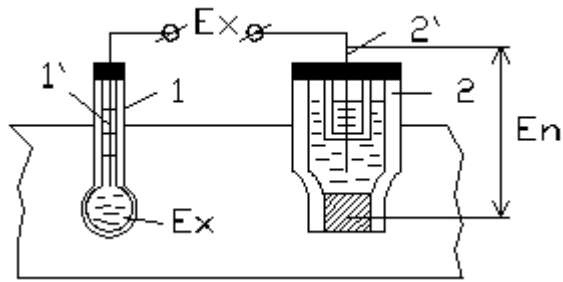


Рис.11.6. Вимірювальна комірка потенціометричного методу

В якості вимірювальних електродів найчастіше використовуються електроди, які виготовлені із скла, або сурми. В якості допоміжних електродів використовуються хлор срібні та каломельні. Разом вони утворюють вимірювальну комірку із каліброваної скляної трубки, до одного кінця якої приварюється мембрана із спеціального електродного скла, в яких додають одновалентні метали K, Na, Li і яке є активною частиною електроду.

Мембрани виготовляються різної форми (в вигляді кульки, списовидна, плоскої – у вигляді голки) в залежності від призначення електроду. В каліброваній частині скляної трубки розміщується 0,1 н. розчину соляної кислоти HCl з невеликої кількості кристалів хлориду срібла. В цей розчин занурюється контактний хлорсрібний електрод 1' (хлорсрібний), від якого відходить провідник до вимірювального приладу. Електрод герметизують.

Під час занурення вимірювальної комірки у контрольований розчин, на скляному електроді з'являється ЕРС E_x лінійно пов'язана з активністю іонів водню в розчині. Між поверхнею скляної мембрани і розчином відбувається обмін іонами. Домішки одновалентних металів під дією виникаючих електростатичних сил вириваються із вузлів кристалевої силікатної решітки і переходять в розчин, а їх місця займають більш активні катіони водню $[H^+]$, які надходять із розчину.

$$E_x = E_0 + 23,17 \lg a_n \quad (9.8)$$

де a_n - активність іонів водню розчину

Якщо підставити в рівнянні Нернста значення констант при $t^0 = 20^{\circ}C$ і прийняти $E_0 = 0$, то потенціал електроду E_x дорівнює:

$$E_x = -0,059 \lg a_n \quad (9.9)$$

І має назву водневої функції і показує, що у разі зміни рН розчину на одиницю, потенціал електроду змінюється на 58 мВ.

Скляні електроди можуть працювати при температурах до $100^{\circ}C$, виготовляються різноманітні скляні електроди для використання в різних середовищах в занурених і проточних перетворювачах, спеціально для використання в харчовій промисловості (аналізу молока, кисломолочних продуктів, рослинних олій, тіста). Сурм'яні вимірювальні електроди виготовляються із металевої сурми в вигляді стержня, або платинового проводу, на який наносять шар сурми.

Електродний потенціал виникає на межі металевої сурми і її окису, який утворюється на поверхні металу. Випускаються спеціальні електроди, які самоочищаються і використовуються для контролю кислотності тіста і інших дуже в'язких харчових продуктів.

Як порівняльні електроди використовуються хлор срібні та каломельні. В харчовій промисловості використання хлорсрібних переважне. Вони являють собою стержень із срібла на поверхню якого наноситься шар малорозчинної солі AgCl. Його розміщують у насиченому калію який через напівпроникну гумову мембрану контактує з вимірювальним розчином і забезпечує замикання електричного ланцюга.

Промисловість випускає датчики зануреного типу ДПг-4м та проточного типу ДМ-5м, перетворювачі П201 і П210; вимірювачі рН-типу рН-201, 205, 261, 265 діапазон вимірювання 1-15 рН клас точності – 1.0;1,5

Вимірювальні схеми рН-метрів

Величина рН контролюемого розчину за даної температури визначається за ЕРС електродної системи і може бути виміряна або по схемі безпосереднього вимірювання ЕРС зі споживанням струму, або по компенсаційній схемі.

При визначенні схеми вимірювання треба мати на увазі, що існують декілька варіантів використання методу безпосередньої оцінки в малогабаритних переносних приладах з невисокою точністю вимірювання (не вище $\pm 0,1$ рН).

В більшості приладів використовується компенсаційний принцип з використанням мостових схем (рис. 11.7,а), які забезпечують простоту налаштування, регулюванні і введенні температурних поправок.

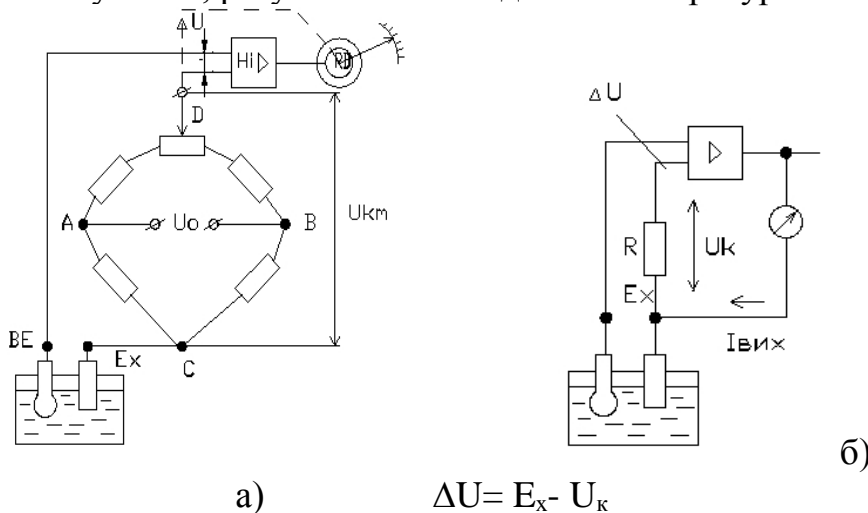


Рис. 11.7 Вимірювальні схеми рН-метрів

Електронний підсилювач Ні підсилює різницю між електрорушійною силою E_x вимірювальної комірки та компенсаційною напругою U_k у вимірювальній діагоналі СД мосту, та керує напрямком обертання РД і переміщенням реохорду до моменту $\Delta U = 0$ (реалізована астатична система регулювання).

Більш надійними є схеми (рис.11.7,б) із статичною компенсацією, які використовують підсилювачі з глибоким від'ємним зворотнім зв'язком по струму. ЕРС E_x порівнюється падінням напруги на R, через який протікає вихідний струм підсилювача.

$$\Delta U = E_x - U_k = E_x - I_{вих} * R.$$

Лекція №16

Тема: Магнітні газоаналізатори

Мета: оволодіти знаннями про магнітні газоаналізатори

Методи: словесний, практичний, наочний

План:

- 1 Принцип дії магнітних газоаналізаторів
- 2 Первинний вимірювальний перетворювач, вимірювальна схема
- 3 Метрологічні характеристики

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки, слайди

Література:

- 1 Є.С. Поліщук Метрологія та вимірювальна техніка Львів Видавництво «Бескид Біт» 2003р 544с.
2. В.В. Кухарчук Метрологія та вимірювальна техніка Вінниця УНІВЕРСУМ 2004 -252с.
- 3 Е.М. Душин Основы метрологии и электрические измерения Л.; Энергоатомиздат, 1987-480с.
- 4 С.А. Спектор Электрические измерения физических величин Л.; Энергоатомиздат, 1987 -320с

МАГНІТНІ ГАЗОАНАЛІЗАТОРИ

Магнітні аналізатори використовують магнітні властивості газової суміші залежно від вмісту деяких компонентів. Найбільша магнітна сприйнятливості властива кисню, що належить до парамагнітних газів (втягується в магнітне поле) на відміну від магнітних газів, які виштовхуються із нього.

Об'ємна магнітна сприйнятливості кисню $\alpha_{\text{к}}$, що знаходиться за тиску P і температури t , маючи молекулярну масу μ , визначається із рівняння

$$\alpha_{\text{к}} = \frac{c\mu}{t^2 R}, \quad (9.24)$$

де c і R — постійні Кюри та газова відповідно. Таким чином, магнітна сприйнятливості кисню пропорційна $1/t^2$ і зменшується із зростанням температури пропорційно $1/t^2$.

Оскільки об'ємна магнітна сприйнятливості решти компонентів газової суміші ж змінюється незначно, тобто $\alpha_{\text{р}} \ll \alpha_{\text{к}}$, то магнітні властивості газу однозначно залежать від вмісту кисню за умови стабілізації тиску та температури.

Існують декілька методів визначення магнітної сприйнятливості контрольованого газу. Найбільш розповсюджений із них ґрунтується на використанні явища термомагнітної конвекції, яка являє собою рух газу, що вміщує кисень, у неоднорідному магнітному і тепловому полях.

На рис.9.23 подана схема первинного перетворювача магнітного газоаналізатора.

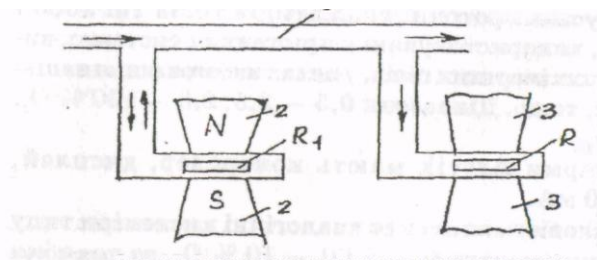


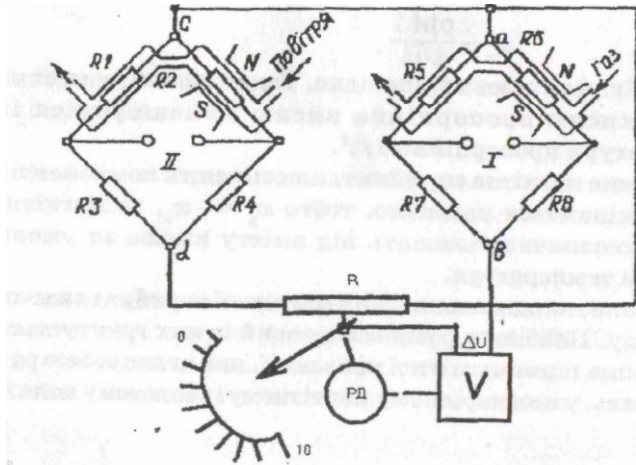
Рис. 9.23. Схема розміщення чутливих елементів магнітного газоаналізатора

Чутливі елементи — це платинові термометри опору R_1 і R_2 у вигляді спіралі, впаяні у скляні балони, що нагріваються струмом до температури 100°C . Очищений і охолоджений газ протікає газопроводом 1 перетворювача, втягується в магнітне поле, де знаходиться постійний магніт 2. Нагріваючись від розміщеного в цьому полі опору R_1 , кисень втрачає магнітну сприйнятливості. Холодний газ виштовхує нагрітий, утворюючи потік термомагнітної конвекції. Завдяки втратам тепла, температура і опір датчика R_1 змінюється пропорційно вмісту кисню. Опір R_2 розміщений у середині немагнітного мідного блока 3, який має таку саму конфігурацію, що і магніт 2, чим забезпечуються рівні умови тепловіддачі.

Побудовані на цьому ефекті аналізатори виконуються за одно- та двомостовою вимірювальними схемами.

У першому випадку платинові опори R_1 і R_2 включаються у вимірювальну схему незрівноваженого моста або у схему зрівноваженого автоматичного моста. Але такі прилади мають невисокі чутливість та точність.

Кращі показники мають компенсаційні схеми подвійного моста. На рис.9.24 показана вимірювальна схема киснеміра типу МН, з двома мостами: I — робочим і II — порівняльним, або компенсаційним.



Платинові термометри R_5 і R_6 робочого моста омиваються контрольованим газом, а термометри R_1 і R_2 компенсаційного моста — повітрям. Система налагоджена таким чином, що різниця потенціалів моста I U_{ab} компенсується частково ΔU_{cd} різницею потенціалів моста II:

$$U_{ab} = \Delta U_{cd} = \alpha U_{cd},$$

Рис. 9.24. Вимірювальна схема

газоаналізатора типу МН.

де U_{cd} — різниця потенціалів у вимірювальній діагоналі компенсаційного моста II; α — коефіцієнт, величина якого залежить від положення повзунка реохорда R і змінюється від 0 до 1. Зі зміною вмісту кисню у контрольованому газі $U_{ab} \neq \alpha U_{cd} = \Delta U$ і їхня різниця ΔU подається на вхід електронного підсилювача ЕП, далі — на реверсивний двигун РД, який переміщує повзуни реохорда R доти, доки не буде виконана умова компенсації, тобто $\Delta U = 0$, і стрілка приладу покаже нове значення параметра.

Киснеміри типу МН 5106 мають межі вимірювань 0 — 10% O_2 ; типу МН 5125 розраховані на діапазон 0 — 100% O_2 ; а типу МН 5130 — на діапазон 0 — 50% O_2 . Клас точності 0,5 — 10. Час установлення вихідного сигналу 0,5 — 1,5 хв. Як вимірювальний прилад використовують автоматичний міст, наприклад типу КСМ 2 — 024, клас точності — 0,25.