

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет екологічної безпеки, інженерії та технологій

КАФЕДРА ХІМІЇ І ХІМІЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

з дисципліни «Енерготехнологія хіміко-технологічних процесів»

Укладач: к.т.н., до-
цент Трофімов І.Л.

(науковий ступінь, вчене звання, П.І.Б. викладача)

Лабораторна робота №1
ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ РІДИНИ ЗА ДОПОМОГОЮ РІВНОМІРА
ГУВЦ-ШК

1. Мета роботи:

Ознайомитися із принципом дії й приладом вимірника рівня рідини ГУВЦ-ШК, а також з методикою визначення рівня. Виконати перевірку вимірювального комплексу.

2. Принцип дії й прилад рівноміра

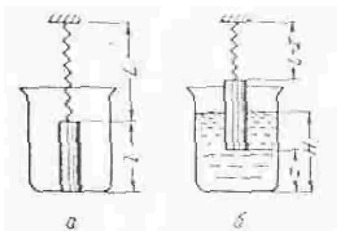


Рис. 1. Схема переміщення поплавця з матеріалу, густина якого більша, ніж густина рідини

Вимірник рівня ГУВЦ-ШК працює на принципі переміщення під дією Архимедової сили поплавця, зануреного в рідину, рівень якої вимірюється. При цьому для зменшення шляху переміщення поплавця щодо зміни рівня рідини поплавець виготовляють із матеріалу з більшою щільністю, ніж у вимірювальній рідині, і підвішують на пружині.

Якщо циліндричний поплавець (рис. 1, а), підвішаний на пружині, опустити в посудину так, щоб у положенні рівноваги він торкнувся дна посудини, то при відсутності рідини в посудині

$$G_n = CL \quad (1)$$

де G_n – вага поплавця, Н (кгс); C – твердість пружини, Н/м (кгс); L – довжина пружини при підвішеному поплавці, м.

При наповненні посудини рідиною щільність ρ Нс²/м⁴ (кгс с²/м⁴) до деякого рівня H (рис. 1 б) поплавець під дією Архимедової сили підніметься на висоту x . умова рівноваги у цьому випадку виразиться рівнянням

$$G_n - \rho g S(H - x) = C(L - x) \quad (2)$$

де S – площа поперечного перерізу поплавця, m^2 .

Позначаючи з рівняння (2) рівняння (1) і здійснюючи відповідні перетворення, отримуємо x (м):

$$x = H \frac{1}{1 + \frac{C}{S\rho g}}. \quad (3)$$

З рівняння (3) випливає, що переміщення поплавця пропорційно зміні рівня рідини, при чому із збільшенням твердості пружини й зменшенням поперечного перерізу поплавця, його відносне переміщення зменшується.

Таким чином, при використанні в рівномірах, в якості як чутливого елемента, підвішаного на пружині поплавця з матеріалу з більш високою щільністю, ніж у рідини, у виміри вводиться масштабний фактор.

Вимірник рівня рідини вертикальний, циліндричний, шкальний з механізмом контролю ІУВЦ-ШК призначений для використання в ємкостях, що працюють під тиском. У комплекті із пневматичними вторинними приладами систем и «Старт» (або АУС) він може застосовуватись для дистанційної передачі показників.

Вимірник рівня складається з вимірювальної частини з механізмом періодичного контролю показників і пневматичної дистанційної передачі. Схема вимірювальної частини приладу з механізмом контролю, наведена на рис. 2. Усередині апарата, в якому вимірюється рівень, міститься циліндричний сталевий поплавець 1, що є чутливим елементом приладу. Поплавець 1 на металевій стрічці 2 підвішений до вільного кінця важеля 4, розташований в корпусі приладу 3. Кінець важеля 4, жорстко з'єднаний із призмою 7. Що разом з важелями 4 й 8 може повертатися на опорі 5. До призми 7 прикріплена пружина, торсіонна трубка 6 і вісь 15, що проходить у середині торс іонної трубки. Протилежний кінець трубки 6 герметично закріплений у фланці 16. на вихідному на зовні кінці осі 15 установлюється заслінка пневмопристрою.

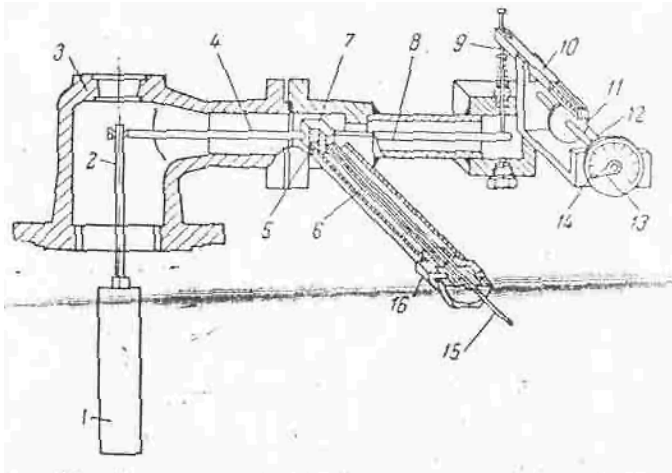


Рис.2. схема вимірювальної частини вимірника рівня ІУВЦ-ШК 1-поплавець, 2-металева стрічка. 3-корпус, 4, 8, 10-важелі, 5 опора, 6-торс іонна трубка, 7-призма, 9-шток, 11-кулачок, 12, 15-осі 13-стрілка, 14-шкала, 16-фланець.

При підвищенні рівня рідини в апараті, глибина занурення поплавця 1 збільшується, що викликає збільшення Архімедової сили, що виштовхує. Це призводить до пропорційної зміни кута закручування торсійної трубки 6, внаслідок чого повертається вісь 15, а разом з нею заслінка пневмопристрою. У такий спосіб забезпечується поворот заслінки на кут, пропорційний зміні рівня рідини. Торсійна трубка при цьому виконує роль пружини, що врівноважує поплавець 1, і забезпечує безсальникове ущільнення при виході осі 15 з пружини високого тиску.

Механізм контролю, вбудований у вимірник 3, служить для налагодження і градуїровки вимірювальної частини приладу. Цим же механізмом здійснюється періодично перевірка з показання приладу в експлуатаційних умовах. Поворот стрілки 13, виконаний вручну, через вісь 12 і кулачок 11, що має форму Архімедової спіралі, викликає переміщення важеля 10 і минаючого через сальник штока 9 до зіткнення останнього з важелем 8. Момет цього зіткнення визначає фактичне положення поплавця 1, отже рівень рідини в апараті контролюється по шкалі 14, отградуїрованої в одиницях рівня. У момент зіткнення стрілка на шкалі пневмопристрою почи-

нає переміщуватися, відлік по шкалі 14 повинен збігатися з показниками приладу. При перестановці, кулачка 11 по осі 12 уздовж важеля 10, на якому нанесена шкала щільності контрольованої рідини, змінюється передатне відношення механізму контролю. Це необхідно для настроювання приладу при вимірі рівня рідини, щільність якої відрізняється від градуіровочної.

Механізм пневматичної дистанційної передачі (рис. 3) працює за схемою компенсації переміщення. Стиснуте повітря з лінії харчування 2, пройшовши фільтр і редуктор, направляється через постійний дросель 6 підсилювача 5 у камеру 7 і подається по капілярній трубці 19, розташованій в трубчастій монометричній пружині 20, до сопла 18, що перебуває на вільному кінці пружини. Одноразом стиснуте повітря надходить через золотник 4 у камеру 3 підсилювача і далі направляються у вихідну лінію.

При підвищенні рівня рідини в апараті поплавець 1 (див. рис.2) переміщується, вісь 15 повертається й заслінка 17(див. рис 3) наближається до сопла 18 на деяку відстань.

Опір повітря на виході із сопла зростає й тиск у камері 7 збільшується, що призводить до переміщення за допомогою порожнього штока 8 золотника 4 униз і внаслідок цього, до збільшення тиску в камері 3, підсилювачі, у вихідній лінії й у середині трубчастої монометричної пружини 20 під дією вихідного тиску повітря не розкритися й не відсує сопло 18 від заслінки 17 у нове рівноважне положення, що відповідає новому значенню рівня рідини в посудині, тобто поки не буде досягнута компенсація переміщеної дросельної заслінки сопла.

Рис.3. Схема пневматичної дистанційної передачі вимірювача рівня ІУВЦ-ШК

1, 11- монометри, 2- лінія живлення, 3,7- камери, 5- посилювач, 6- постій-

ний дросель, 8- шток, 9 гвинт з пружиною, 10, 15- осі, 12- плата, 13- стійка, 14- паз, 16- шкала, 17- заслінка, 18- сопло, 19- капілярна трубка, 20- монометрична пружина

При зниженні рівня рідини в апараті зазначені дії будуть відбуватися у зворотньому порядку, й тиск у вихідній лінії зменшиться пропорційно зниженню рівня в посудині.

Установка початкового значення вихідного сигналу виробляється зміною початкового зазору між соплом 18 та заслінкою 17, шляхом повороту плити 12 разом із трубчастою монометричною пружиною 20 і соплом 18 навколо осі 10 за допомогою гвинта із пружиною 9.

При вимірі рівня рідини, питома вага якої відрізняється від градуіровочної, виконується відповідне настроювання механізму пневматичної дистанційної передачі шляхом переміщення стійки 13 разом з трубчастою монометричною пружиною 20 і соплом 18 по позу 14 уздовж шкали 16, отградуірованої в одиницях щільності вимірюваної рідини. При такому коректуванні, сопло 18 переміщується уздовж дросельної заслінки 17, що призводить до зміни додатного відношення важільної передачі, а разом із цим і до зміни коефіцієнта пропорційності вихідного сигналу.

Механізм пневматичної дистанційної передачі харчується системним повітрям, тиском – ПО кн/м² (1,1 кгс/див²), контролюваним по монометрі 1. Значення вихідного сигналу, що змінюється в межах 19,6-98 кн/м² (0,2-1 кгс/див²) при зростанні рівня від нуля до максимуму, контролюється по монометрі 11 (отградуірован від нуля до 100% висоти рівня), встановленому на корпусі приладу й призначеному для місцевої вказівки рівня рідини.

Межі вимірів рівня рідини приладом становлять від 0-400 до +200° , щільності 0,5-1,2 г/см³ і тиску до 4 МН/м² (40 кгс/див²). Максимальна відстань від вимірника рівня до місця установки вторинного приладу не повинне перевищувати 300 м. Основна погрішність приладу при місцевому й дистанційному вимірі рівня не перевищує $\pm 1,5\%$ від діапазону виміру.

ОПИС УСТАНОВКИ Й МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

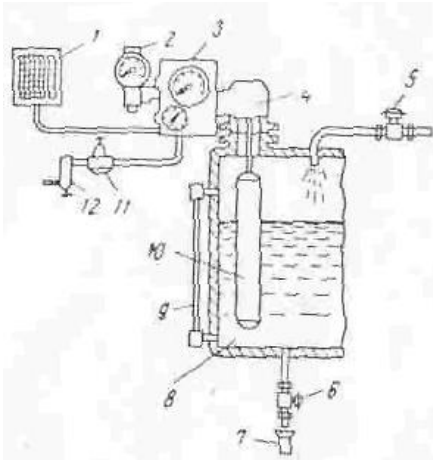


Рис. 4. Схема установки для визначення рівня рідини за допомогою рівноміра ІУВЦ-ШК

1- вторинний регіструючий прибор, 2- механізм контролю, 3- мономерт шкального приладу для місцевого вимірювання рівня, 4- корпус пристрою, 5- вхідний трубопровід з краном, 6- зливний трубопровід з краном, 8- бачок, 9- водомірне скло, 10- поплавець, 11- редуктор повітря, 12-фільтр.

Схема установки для визначення рівня рідини за допомогою вимірника складається з бака 8, заповненого водою, рівень якої

контролюється. Рідина подається в бак по трубопроводу із краном 5 і зливається в прийомну лійку 7 по трубопроводу із краном 6. На баці 8 установлене водомірне скло 9 і вимірник рівня ІУВЦ-ШК-400 4 з межами виміру й регулювання 0-400мм стовпа рідини. Харчування регулятора систем повітря здійснюється через фільтр 12 і редуктор 11. Вихід з регулятора подається на вторинний прилад ПВ4.2 Є 1 зі шкалою 19,6-98 кн/м² (0,2-1 кгс/див2).

Зміна рівня води в баці виробляється за допомогою її подачі або зливи через трубопроводи із кранами 5 та 6. За дійсні значення рівня рідини в баці приймаються показання водомірного скла.

При настроюванні вимірювальної системи приладу необхідно відрегулювати механізм контролю й положення стрілки на мономерті шкального пристрою для місцевої вказівки рівня. Установка стрілки механізму контролю на нульову оцінку виробляється зміною довжини штока 8 (див.рис.3). Перевірка роботи механізму контролю й шкального пристрою приладу здійснюється при положеннях рівня, що відповідають 50 й 100% його максимального значення. У випадку розбіжності стрілки приладу із зазначеними оцінками змінюють передатне відношення механізму контролю переміщенням кулачка 11 уздовж його осі. Треба при цьому врахувати, що при безперервній зміні рівня від 0 до 100% відповідає безперер-

вній зміні надлишкового тиску стисненого повітря, поданого на вторинний прилад у межах $-2-98$ кН/м² (0,2-1 кгс/див²).

Далі виконують перевірку монOMETРА шкального пристрою вторинного приладу в комплекті з ним, порівнюючи їхні показання з показаннями рівня по водомірному склу. Перевірку показань приладів роблять в 4-5 крапках, розташованих рівномірно по шкалі водомірного скла. Отримані дані заносять в таблиця.

Показання			Погрішності				
за водомірним склом		шкального пристрою рівноміра, %	вторинного приладу, %	шкального пристрою, %		Вторинного приладу, %	
H , мм	% від H_{\max}			абсолютні	наведені відносності	абсолютні	наведені відносності

Лабораторна робота №2 ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ РІДИНИ ЗА ДОПОМОГОЮ ЄМНІСНОГО РІВНОМІРУ

1. Принцип дії і будова рівноміру

Чутливим елементом (датчиком) ємнісного рівноміру являється конденсатор, між вертикально встановленими підкладками якого знаходиться рідина. При зміні рівня рідини змінюється електрична ємність конденсатора, яка вимірюється з допомогою моста змінного струму.

Конструктивно конденсаторний датчик являє собою набір коаксіально розміщених по відношенню одна до одної труб з відповідними діаметрами d і D (рис 1).

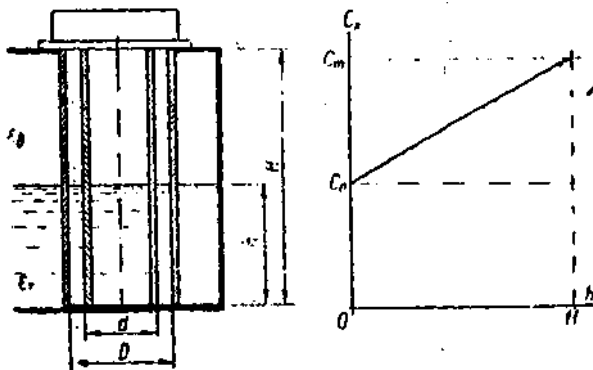


Рис. 1. Конденсаторний датчик рівноміру і його статична характеристика

Довжина труб датчика, який встановлено вертикально, відповідає висоті H бака з рідиною. При частковому заповненні бака до рівня загальна електрична ємність датчика являється сумою ємностей двох трубчатих конденсаторів C_B з повітряним і C_T з рідинним діелектриками, довжини яких відповідно дорівнюють $(H-h)$ і h . Для довільного плинного значення рівня h рідини в баці електрична ємність C_h , датчика буде

$$C_h = 2\pi\epsilon_0\epsilon_T h / [\ln(D/d)] + [2\pi\epsilon_0\epsilon_B (H-h) / [\ln(D/d)]] ,$$

де ϵ_0 – абсолютна діелектрична проникність вакууму ($\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-2} \text{ нФ/см}$); ϵ_T – відносна діелектрична проникність рідини; ϵ_B – відносна діелектрична проникність повітря ($\epsilon_B = 1$). Статичну характеристику конденсаторного датчика можна записати у виді прямої

$$C_h = A_1 h + A_2 ,$$

де $A_1 = [2\pi\epsilon_0(\epsilon_T - 1)] / [2,3 \lg(D/d)]$; $A_2 = [2\pi\epsilon_0 H] / [2,3 \lg(D/d)]$.

Якщо конденсаторні датчики виготовлені з декількох коаксіальних труб, то загальна ємність складається із суми ємностей, утворених суміжними трубами.

2. Міст змінного струму

Для вимірювання електричної ємності конденсаторних датчиків і побудови ємнісних рівномірів застосовується мостовий метод, побудований на використанні електричної схеми самобалансуючого моста змінного струму (рис. 2).

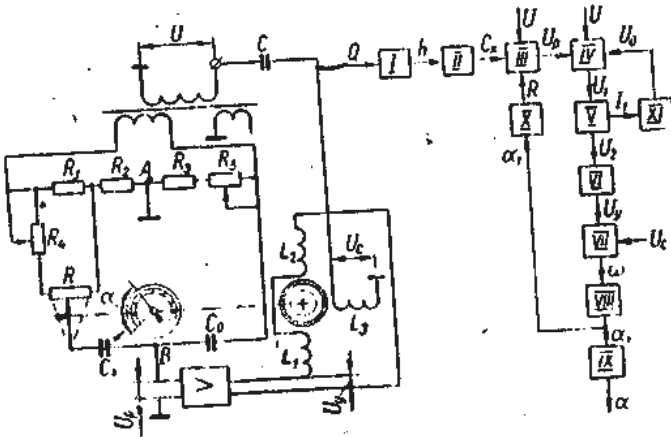


Рис. 2. Принципова електрична і структурна схеми рівноміра з конденсаторним датчиком в схемі самобалансуючого моста

Плечима мостової схеми являються ємності C_x і C_0 , а також дві групи активних опорів R_3 , R_5 і R , R_4 , R_1 , R_2 . Змінний опір R_4 включено в схему для настройки електричного нуля рівноміру при порожньому баці, а R_5 – для настройки максимальних показань при повністю заповненому баці. Нуль і максимум регулюються незалежно один від іншого і не впливають один на іншого. При зміні кількості рідини в баці міняється положення рівня h і електрична ємність C_x датчика. Міст виходить з рівноваги і в точках AB (вимірювальна діагональ) виникає різниця потенціалів U_p , яка по-

ступає на вхід підсилювача. На виході цього підсилювача буде напруга U_y , яка подається на управляючі обмотки L_1 і L_2 двохфазного реверсивного двигуна. На обмотку L_3 двигуна від мережі змінного струму через конденсатор C подається напруга U_c . В залежності від амплітуди і фази напруги U_y ротор двигуна буде обертатися в прямому або оберненому напрямку. Обертання ротора передається на редуктор і викликає поворот осі потенціометра. При цьому міняються величини двох ділянок опору потенціометра R і мостова схема повертається до врівноваженого стану. По мірі наближення до врівноваженого стану сигнал розбалансу і швидкість обертання ротора двигуна зменшуються. При рівновазі моста двигун зупиняється і стрілка, яка зв'язана через свій редуктор з двигуном, покаже кут, відповідний даному рівню рідини. При заповненні баку, коли електрична ємність C_x датчика зростає, сигнал розбалансу U_p моста буде відрізнитися по фазі на 180° від сигналу розбалансу при зменшенні рівня рідини. Тому ротор двигуна змінить напрям обертання і стрілка почне відхилятися в сторону збільшення показань.

Для сигналізації залишку рідини в баці, а також для здійснення автоматичного включення і виключення насосів перекачки і кранів застосовують автоматичну систему з індуктивним датчиком, включеним у схему моста (рис. 3). Плечами цього моста служать чотири індуктивності L_1 , L_2 , L_3 , L_d . Живлення моста здійснюється від вторинної обмотки трансформатора, на первинну обмотку якого подається змінний струм. Електричні параметри плечей моста підбираються так, щоб його рівновага була в одному з крайніх положень поплавка. При порушенні рівноваги мостової схеми між точками av виникає різниця потенціалів, яка після випрямлення подається на живлення обмотки P реле постійного струму. Після спрацювання реле утворюється ланцюг живлення сигнальної лампи L і вона загоряється. Через контакти реле включаються схеми управління насосами перекачки і кранами.

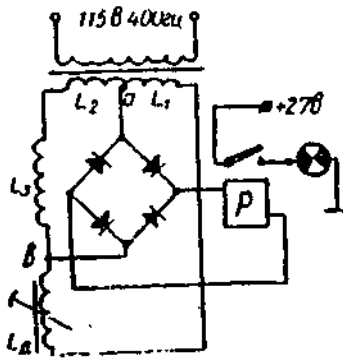


Рис. 3. Схема сигналізації залишку рідини в баці з індуктивним датчиком

Наряду з основними інструментальними похибками, які виникають через неточність виготовлення і регулювання конденсаторних датчиків, зміна параметрів, які визначають стан навколишнього середовища і властивості рідини, викликає додаткові методичні похибки. Для зменшення додаткових температурних похибок електричних рівномірів з конденсаторними датчиками застосовують спеціальні схеми рівномірів з компенсуючими датчиками.

Контрольні питання:

1. На якому принципі побудовано ємнісний рівномір?
2. Який вигляд має статична характеристика датчика рівноміру?
3. Як побудовано міст змінного струму?
4. Як працює ємнісний рівномір?
5. Як реалізується сигналізація залишку рідини в баці?

Лабораторна робота №3 ВИМІРЮВАННЯ ТИСКУ І ВИТРАТ

Тиск і витрата є важливими параметрами технологічних процесів на хімічних підприємствах. Від них часто залежить не тільки

правильна взаємодія реагентів, а й безпека проведення процесів, зменшення втрат, найбільш високий вихід хімічної продукції.

2.1 Вимірювання тиску

Під тиском розуміють відношення нормальної складової сили до площі, на яку діє ця сила. В якості одиниці тиску використовують "Паскаль" (Па, кПа, МПа), який представляє собою тиск в 1 н/м². В лабораторній та промисловій практиці зустрічаються й інші одиниці, відношення між якими приведено в додатку до розділу. 2.

Прилади для вимірювання надлишкового тиску називаються манометрами, атмосферного — барометрами, вакууму - - вакуумметрами, невеликого розрідження тягомірами, малого надлишкового тиску -напоромірами.

За принципом дії всі ці прилади класифікуються наступним чином:

- рідинні., засновані на урівноваженні вимірюного тиску гідростатичним тиском стовпа рідини. Вони підрозділяються на лабораторні та технічні рідинні манометри. Лабораторні манометри виконуються з скла у вигляді двохтрубних (U - подібних), однострубних (чашкових) і нахильних манометрів. Технічні прилади виконуються у вигляді комбінованих рідинно-механічних приладів. До них відносяться поплавкові, дзвонові, кільцеві;

- поршневі, в яких тиск, що вимірюється, урівноважується зовнішньою силою, що діє на поршень. Вони використовуються для градування та повірки різних видів манометрів;

- пружинні, які вимірюють тиск по величині деформації чутливого елемента у вигляді трубчатої пружини, мембрани чи сильфону;

- електричні, які засновані на перетворенні тиску в електричну величину.

2.1.1. Манометр типу МЕД-2303-2,5

Найбільш широко в промисловій практиці використовуються манометри з одновитковою трубчатою пружиною. Чутливим елементом приладу являється зігнута в дугу трубка з еліпсним чи плоско-овальним перерізом (рис. 2.1).

Одним кінцем трубка сполучена з об'єктом, в якому вимірюють тиск (трубопровід, апарат), а інший кінець запаяний і вільно переміщується. Якщо тиск середовища, яке вимірюється (рідини, газу чи пари) зростає, то трубка розпрямляється - її вільний кінець переміщується до верху і прямо за траєкторією, близькою до прямої. При зменшенні тиску в середині трубки її кривизна зростає - вона скручується під дією власної пружності. Властивість гнutoї трубки не круглого розрізу змінювати величину згинання при зміні тиску в її порожнині являється наслідком зміни форми перерізу: при зростанні тиску еліпсний переріз трубки, деформуючись, наближається до круглого (мала вісь еліпсу чи овалу зростає, а велика зменшується). Сумарне зусилля, яке діє на поверхню радіусу R_2 (внутрішня частина вигину), стає меншим, ніж зусилля на зовнішню поверхню трубки радіусу R_1 . Тому трубка при зростанні тиску розпрямляється. Переміщення вільного кінця трубки являється мірою зміни тиску у її середині, тобто на об'єкті.

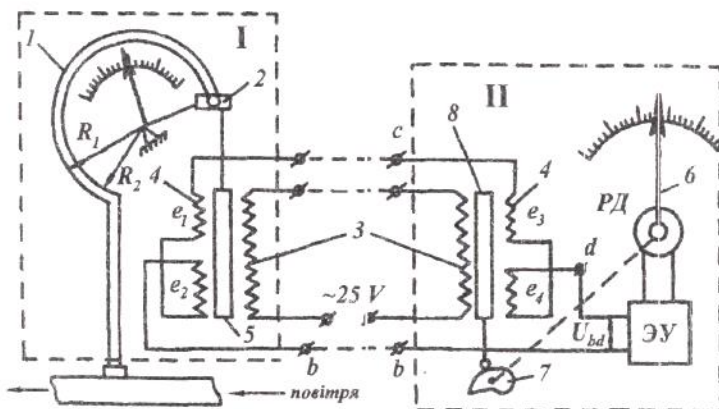


Рис. 2. електричною дистанційною передачею типу МЕД-2 303-2.5;
II — вторинний

прилад типу КСД2-0031, Схема установки для виміру витрат повітря: I-манометр з

Через спеціальний передавочний механізм 2 до вільного кінця трубки під'єднують стрілку приладу чи будь-який пристрій для дистанційної передачі показань - пневматичний чи електричний. Манометр типу МЕД-2303-2,5 має диференційно-трансформаторну електричну передачу.

2.1.2. Дистанційна диференційно-трансформаторна передача

напруги U_{bd} , яке посилюється. Схема дистанційної передачі приведена на рис.2.1. Передаючий диференційно-трансформаторний перетворювач вбудовано у первинний прилад I. Він має індукційний трансформатор, який складається з первинної 3 та вторинної 4 обмоток, кожна з яких має дві секції, з'єднані послідовно. Індукційний трансформатор розміщено на роз'єднувальну трубку, у середині якої знаходиться плунжер 5 з феромагнітного матеріалу. При підключенні первинної обмотки до мережі перемінного струму в секціях вторинної обмотки індуктується ЕРС. Секції з'єднані зустрічно-послідовно так, що їх ЕРС знаходяться в протифазі, тому результуюча напруга, яка знята з вторинної обмотки U_{ab} , дорівнює різниці ЕРС, тобто $U_{ab} = e_1 - e_2$. При симетричному розташуванні плунжера відносно секцій вторинної обмотки напруга на її клеммах дорівнює нулю, $U_{ab} = 0$. Переміщення плунжера приводить до того, що ЕРС секції, до якої входить плунжер, зростає, а ЕРС секції, з якої він виходить, зменшується. На зажимах вторинної обмотки з'являється напруга, яка пропорційна переміщенню плунжера. Передаючий перетворювач підключено до аналогічного перетворювача вторинного приладу II таким чином, що первинні обмотки з'єднуються послідовно, а напруга, яка знімається з вторинних обмоток, знаходиться в протифазі, тобто трансформатори включені зустрічно-послідовно. Результуюча напруга, яка подана на вхід електронного посилювача (ЕУ), буде дорівнювати різниці напруги $U_{bd} = U_{ab} - U_{cd}$, яка знята з вторинних обмоток первинного і компенсуючого перетворювачів. Якщо плунжери обох перетворювачів знаходяться в однакових положеннях відносно секцій вторинних обмоток, то напруга, яка подана на вхід посилювача, дорівнює нулю, $U_{ab} = 0$. При зміні параметра, що контролюється виникає розбаланс напруги у вторинних обмотках котушок первинного і вторинного приладів. До входу посилювача буде подаватися напруга, величина і фаза якої залежать від величини і напрямку переміщення плунжера первинного приладу. Зміна електронним посилювачем, приводить до обертання реверсивного двигуна РД. Останній через редуктор переміщує стрілку 6 вторинного приладу, і за допомогою пристрою 7 - плунжер компенсуючого пе-

ретворювача 8.

Напрямок обертання двигуна залежить від фази напруги, яка подана на вхід посилювача. Переміщення плунжера буде продовжуватися до тих пір, доки напруга на вході посилювача не буде дорівнювати нулю. Таким чином, кожному положенню плунжера перетворювача первинного приладу, яке визначається значенням параметра, що вимірюється, відповідає визначене положення плунжера компенсуючого перетворювача вторинного приладу, а отже, й положення стрілки відносно шкали вторинного приладу.

Експериментальна частина

1. Ввімкнути живлення приладу.
2. Подати рідину або стиснене повітря на зразковий манометр і манометр, що підлягає повірці.
3. Провести повірку манометра при прямому і зворотному ході стрілки, визначивши приведені відносні похибки на всіх цифрових значеннях
- 4.Зробити висновки на підставі одержаних результатів.

: Контрольні питання

1. Типи чутливих елементів приладів для вимірювання тиску.
2. Призначення та устрій манометру типу МЕД.
3. Типи дистанційних передач.
4. Робота дистанційної диференційно-трансформаторної передачі.

Лабораторна робота №4 ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТ

Витрата - це кількість речовини, яка протікає через переріз трубопроводу в одиницю часу (наприклад, м³/г). Для вимірювання витрати речовини використовують витратоміри, які побудовані на різних принципах дії:

- витратоміри перемінного перепаду тиску, в яких використовуються вставлені в трубопроводі звужуючі пристрої постійного перерізу (діафрагми, сопла, труби Вентурі та ін.);
- витратоміри швидкісного напору, які вимірюють витрату по ди-

намічному тиску середовища (трубка Піто);
— витратоміри постійного перепаду тиску, які вимірюють витрату за допомогою звужуючого пристрою з перемінним перепадом (ротаметри);
— витратоміри перемінного рівня, які вимірюють витрату за допомогою висоти рівня рідини, яка протікає через посудину (щілинні витратоміри агресивних рідин);
— інші види витратомірів: електромагнітні (індукційні), іонізаційні, ультразвукові, калориметричні та ін.

Найбільше розповсюдження для вимірювання витрати газу дістали витратоміри перемінного перепаду тиску.

2.2.1. Витратомір перемінного перепаду тиску

Принцип перемінного перепаду тиску полягає в тому, що в трубопроводі встановлено звужуючий пристрій, який створює місце звуження потоку (наприклад, диск з меншим отвором, ніж внутрішній діаметр трубопроводу). Тоді перепад тиску (різниця між тисками до і після звужуючого пристрою) буде змінюватися в залежності від витрати. Таким чином, після вимірювання різниці тисків диференційним манометром можна визначити величину витрати. На лабораторній установці звужуючий пристрій виконано у вигляді діафрагми (диску з отвором рис.2.2).

Перепад тиску, який створюється діафрагмою, зв'язаний з витратою наступним співвідношенням:

$$Q = C\sqrt{\Delta P}$$

де Q- витрата речовини, м³/г; C - коефіцієнт пропорційності; ΔP - перепад тиску, Па.

Схема вимірювання витрат витратоміром перемінного перепаду тиску приведена на рис. 2.2.

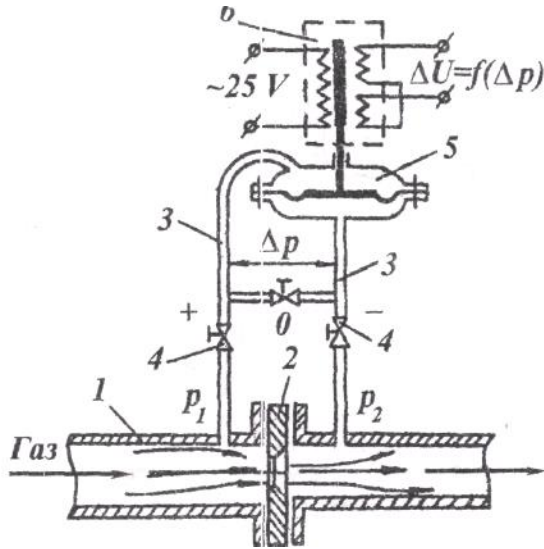


Рис.2.2. Схема виміру витрат витратоміром перемінного перепаду тиску: 1- трубопровід; 2 - пристрій, що створює перепад тиску (діафрагма); 3 - з'єднувальний пристрій, який передає перепад тиску від потоку речовини до дифманометру; 4 - вентиля; 5 - дифманометр мембранний з диференційно-трансформаторним перетворювачем.

Для вимірювання витрати газу, рідин й пари по перемінному перепаду тиску необхідно мати три елементи, що об'єднанні загальною назвою - "витратомір перемінного перепаду":

- пристрій, який створює перепад тиску у потоках середовища, що вимірюється (2);
- вимірювальний прилад - диференціальний манометр, який вимірює перепад тиску (5);
- з'єднувальний пристрій, який передає перепад тиску від потоку речовини до дифманометру (3) і вентиля (4).

Крім цих елементів, можуть бути використані електричні (6) чи пневматичні перетворювачі для дистанційної передачі, вторинні прилади для показання і запису витрат, інтегратори і т.д.

Експериментальна частина
Вимірювання витрат повітря здійснюється на лабораторній

установці, яка представлена на рис.2.3.

I

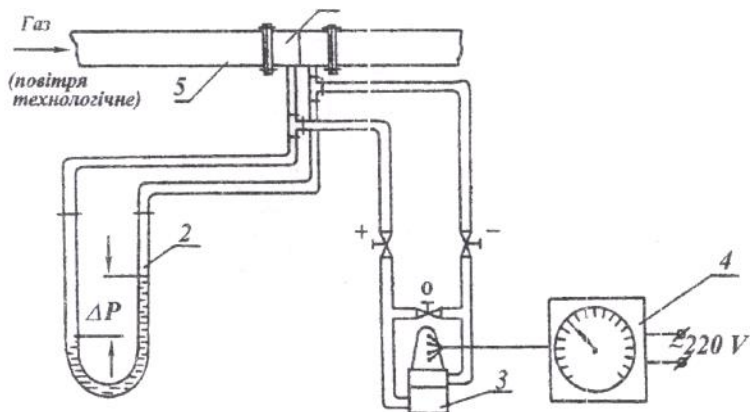


Рис. 2.3. Схема лабораторної установки для виміру витрат повітря: 1 - діафрагма; 2 - рідинний скляний U-подібний дифманометр; 3 - дифманометр мембранний з диференційно-трансформаторною дистанційною передачею; 4 - вторинний прилад типу КСД-2-060.

Технологічне повітря від повітродувки подається по трубопроводу 5, на якому встановлено регулюючий вентиль, що дозволяє змінювати витрату повітря. В трубопровід вмонтована діафрагма 1, яка представляє собою сталевий диск з концентричним отвором, розточеним по визначеному профілю. Перепад тиску на діафрагмі вимірюється паралельно двома дифманометрами: скляним U-подібним (2) і мембранним (3) з диференційно-трансформаторною дистанційною передачею на вторинний прилад типу КСД-2 (4).

При проведенні роботи необхідно установити визначену витрату повітря, записати значення по інтегратору вторинного приладу N1, і перепад тиску ΔP по скляному рідинному дифманометру. Потім через заданий проміжок часу t при постійному перепаді ΔP записати показання інтегратора N2. Данні вимірювань записати в таблицю по приведеній нижче формі (табл. 2.2).

Для кожного заміру визначити витрату повітря по формулі

$$Q_i = (N_1 - N_2) 60 / \tau$$

де i - номер заміру, N_1 і N_2 - показання інтегратора на початок

і кінець заміру.

По одержаним даним побудуйте графіки $Q = f(\Delta P)$,

$Q = f(\sqrt{\Delta P})$ і зробіть висновки.

Контрольні питання:

1. Призначення діафрагми в схемах вимірювання витрат.
2. Устрій та призначення дифманометру мембранного з диференційно-трансформаторною передачею.
3. Як залежить значення витрат від перепаду тиску на діафрагмі?

Додаток 1

ПРИКЛАД

Таблиця 2.2

№ заміру	Показання скляного манометра		Показання інтегратора вторинного приладу		Час τ , хвилин	Витрати повітря на вторинному приладі $\Delta N = (N_2 - N_1)$, т/годину	Витрати повітря P, м ³ /годину
	P, мм. вод. ст.	P, Па	початок, N ₁ .	кінець, N ₂			
1	20	196	4943, 2	4945, 0	4	1,8	0,118
2	25	245	4945, 4	4947, 4	4	2,0	0,132
3	35	343	4947, 7	4949, 9	4	2,2	0,156
4	40	392	4950, 1	4952, 4	4	2,3	0,166

Обробка результатів експерименту

1. Визначити витрату повітря для кожного виміру по формулі:

$$Q_{pac} = 0,0125 * \alpha * \varepsilon * K_t * d^2 * \sqrt{\frac{h}{9.8 * \gamma_b}} \text{ м}^3/\text{Г}$$

де α — загальний коефіцієнт витрат;

ε — поправочний множник розширення повітря;

K_t - Поправочний множник на теплове розширення діафрагми;

d — діаметр отвору діафрагми, мм;

h — перепад тиску на U- подібному дифманометрі, Па;

γ_b - густина повітря, кг/м³.

Якщо в рівнянні зробити заміну $C = 0,0125 \cdot \alpha \cdot \varepsilon \cdot K_t \cdot d^2$ тоді воно приймає вигляд:

$$Q_{pac} = C * \sqrt{\frac{h}{9.8 * \gamma_b}}$$

При температурі повітря 20°C частина коефіцієнтів буде рівнятися:

$\varepsilon = 1$; $K_t = 1$; і $\gamma_b = \gamma_H = 1,292$ кг/м³

Так як $\alpha = f(m)$, а коефіцієнт модуля діафрагми $m=(d/D)^2$ то при значеннях: діаметрів трубопроводу: $d=2$ мм; $D=8$ мм => $m=(2/8)^2 = 0,0625$.

Відповідно з таблиці, 2.3. методом екстраполяції визначаємо коефіцієнт $\alpha = 0,599$. Отже $C = 0,0125 \cdot 0.599 \cdot 22 / (1,292)^{0.5} = 0,0263$.

Таблиця 2.3

Модуль діафрагми $m=(d/D)^2$	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25
Коефіцієнт витрат, α	0,598	0,602	0,608	0,615	0,624

2. Для кожного заміру розрахуємо витрату повітря по формулі:

$$Q = 0,0263 \cdot \sqrt{h/9,8}$$

3. Побудуйте графік градування для вторинного приладу $\Delta N = f(Q)$.

4. По даним з таблиці будують графіки залежностей:

$$Q = f_1(\Delta P) \text{ та } Q = f_2(\sqrt{\Delta P})$$

5. По побудованим графікам залежностей зробити висновок про роботу.

Одиниці вимірювання тиску

Одиниці тиску	кг/м ² або мм. вод. ст.	кг/см ² або техн. атмос- фера	Атм. (фі- зична)	мм. рт. ст.	Паскаль (Н/м ²)
1 кг/м ² або 1 мм.вод. ст.	1	10 ⁻⁴	0,968*10 ⁻⁴	0,0736	9,807
1 кг/см ² або атм. технічна	10 ⁻⁴	1	0,968	735,6	98066
1 атм. (фізична)	10332	1,0332	1	760,0	101325
1 мм. рт. ст.	13,6	1,36*10 ⁻³	1,316*10 ⁻³	1	133,3
1 Паскаль (Н/м ²)	0,102	1,02*10 ⁻⁵	1,013*10 ⁻⁵	7,5*10 ⁻³	1

Лабораторна робота №5
ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

Всі види обладнання для вимірювання температури можна умовно розділити на дві групи: термометри розширення та електричні термовимірювачі. Останні являються найбільше розповсюдженими в промисловій практиці. До них відносяться термовимірювачі опору і термоелектричні термовимірювачі, які ґрунтуються на зміні електричних властивостей матеріалів в залежності від температури.

Термовимірювачі опору

Термовимірювачі опору - це комплект, який складається з термометрворювача опору (датчика) і вторинного приладу - електронного автоматичного моста чи логометра.

Принцип роботи і вид термовимірювачів опору

При вимірюванні температури термовимірювачами опору використовується властивість провідників і напівпровідників змі-

нювати свій електричний опір при зміні їх температури. Температурний коефіцієнт електричного опору провідників (металів) позитивний (опір зростає при підвищенні температури). Для напівпровідників температурний коефіцієнт електричного опору може бути:

— негативним (опір знижується при підвищенні температури) термоперетворювач називають термістором;

— позитивним (опір зростає при підвищенні температури) -термоперетворювач називають позистором.

Вид функції $R=f(t)$ залежить від природи матеріалу. Для виготовлення чутливих елементів серійних термовимірювачів опору застосовують чисті метали. До металів пред'являють такі основні вимоги:

— метал не повинен окислюватися чи вступати в хімічну взаємодію з середовищем, що вимірюється;

— температурний коефіцієнт електричного опору металу повинен бути достатньо великим та незмінним;

— опір повинен змінюватися зі змінюванням температури по прямій чи плавній кривій без різких відхилень— питомий електричний опір металу повинен бути достатньо великим.

Чим більший опір, тим менше потрібно металу для одержання необхідної початкової величини опору термометру. Вказаним вимогам в визначених температурних, межах найбільш повно відповідають платина і мідь.

Для виготовлення термоперетворювачів застосовують також напівпровідники (оксиди деяких металів). Значною перевагою напівпровідників є великий температурний коефіцієнт опору (від $3 \cdot 10^{-2}$ до $4 \cdot 10^{-2}$). Внаслідок великого питомого електричного опору напівпровідників із них можна виготовляти термоперетворювачі малих розмірів з великим початковим опором, що дозволяє не враховувати опір з'єднувальних провідників та інших елементів електричної вимірювальної схеми.

Таблиця 1.1

Основні параметри платинових термоперетворювачів опору типу ТСП і мідних - типу ТСМ

Тип термоперетворювачів опору	Номінальний опір при 0 °С, Ом	Позначення градування	Діапазон температур, що вимірюється, °С
ТСП	10	гр.20	0 ...+650
платинові	46	гр.21	-200 ...+650
	100	гр.22	-200 ... +650
ТСМ	53	гр.23	-50 ... +180
мідні	100	гр.24	-50 ...+180

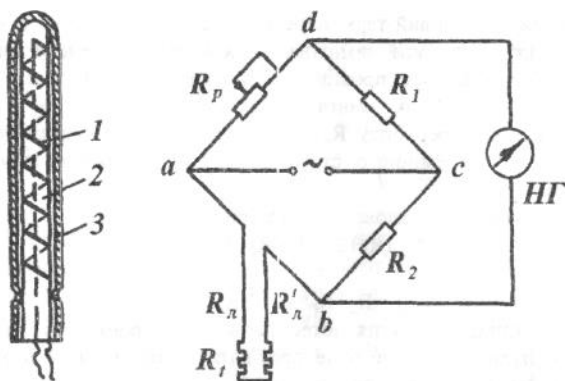


Рис. 1.1. Термоперетворювач опору: 1 - калібрований дріт; 2 — слюдяний каркас; 3 -захисний чохол

Рис.1.2.Принципова схема рівноважного моста (двопровідникова): R_1 і R_2 - постійні опори; R_p -опір реохорду; R_λ і R'_λ - опір з'єднувальних провідників; НГ нуль-гальванометр; R_p -термсперетворювач опору; $R_\lambda = R'_\lambda$, тому опір плеча ab : $R_{ab} = R_\lambda + 2R_p$

Для виготовлення термоопорів застосовують оксиди титану, магнію, заліза, марганцю, кобальту, нікелю, міді чи кристали деяких металів (наприклад германія) з різними домішками.

Головними недоліками, що обмежують широке впровадження напівпровідникових термоперетворювачів у виробництво, є

погана відтворюваність їх параметрів, яка виключає їх взаємозаміну, а також порівняно невелику максимальну робочу температуру (від -120 до +180 °С).

Чутливі елементи металевих термоперетворювачів (рис. 1,1) представляють собою тонкий мідний дріт 1, намотану біфілярно на спеціальний; слюдяний каркас 2 (чи пластмасовий). Для зменшення зовнішніх впливів чуйні елементи розміщують в металічній трубі (захисний чохол) 3 - з литої голівки, в яку вмонтовані виводи кінців обмотки для їх підключення до з'єднувальних провідників вторинного приладу.

Принцип роботи та устрій автоматичних електронних мостів

Як вторинні прилади в комплекті з термоперетворювачами опору застосовуються звичайно автоматичні електронні рівноважні мости, рідко - логометри і неврівноважені мости. Вимірювання електричних опорів автоматичними рівноважними мостами проводиться методом рівноважування чи нульовим методом.

Принципова схема автоматичного рівноважного мосту наведена на рис. 1.2.

Мідний чи платиновий термоперетворювач опору, величина електричного опору якого повинна бути виміряна, включається в одне з плеч мосту за допомогою з'єднувальних провідників, що мають опір $R_{л}$. Інші плечі мосту складаються із постійних манганінових опорів R_1 і R_2 і перемінного каліброваного опору реохорду R_p . До однієї діагоналі підведене постачання постійного чи змінного струму, в другу діагональ ввімкнено нуль-гальванометр.

При рівновазі мосту задовольняється рівняння:

$$R_1(R_t + 2R_{л}) = R_2 \cdot R_p \quad (1.1.1)$$

тоді

$$R_t = R_2 \cdot R_p / R_1 - 2R_{л} \quad (1.1.2)$$

В цьому випадку різниця потенціалів між точками b і d ($U_{bd}=0$) буде дорівнювати нулю, струм не буде протікати через нуль-гальванометр, його стрілка установиться на нульовій позначці.

При зміні температури, яку вимірюють, величина електричного опору термоперетворювача зміниться, і міст розбалансиється. Щоб відновити рівновагу, необхідно при постійних опорах R_1 , R_2 і R_d відповідно змінити величину опору реохорду R_p , перемістивши його движок. Таким чином, якщо відкалібрувати опір R_p , то положення його движка при рівновазі мосту однозначно залежить від величини опору R_t і, отже, від температури, що вимірюють.

На рис. 1.3 представлена принципова схема автоматичного електронного самописного рівноважного мосту типу КСМ.

Мостова вимірювальна схема складається з чотирьох плеч: ad, dc, cb, ba і двох діагоналей: живлячої ac, в яку підключено джерело стабілізованого живлення ИПС, і вимірювальної bd. Вимірювальна діагональ включає замість нуля-гальванометру електронний посилювач ЭУ, реверсивний двигун РД і реєструючий пристрій РУ.

7

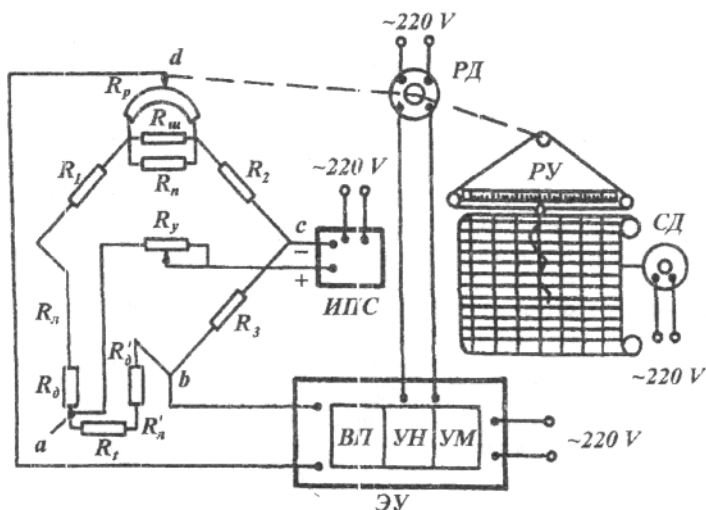


Рис. 1.3. Принципова схема автоматичного електронного мосту типу КСМ (трипровідна).

Опори R_1 , R_2 , R_3 виготовлені із манганіну - сплаву, у якого

в інтервалі температур 0-200 °С опір практично не змінюється. Отже, вони являються постійними і не залежать від температури оточуючого середовища в умовах експлуатації приладу.

Опір R_y служить для попередньої установки струму в живлячій діагоналі ac , R_p - опір реохорду - для урівноваження вимірювальної схеми моста. Реохорд являє собою калібрований опір з мanganінового дроту, який намотано на диск і закріплено на вісь реверсивного двигуна РД. Таким чином, реохорд може обертатися в ту чи іншу сторону в залежності від повороту ротору реверсивного двигуна, контакт d (движок реохорду) закріплюється на конструкції непорушно.

Для захисту реохорду від перенавантаження струмом (для уникнення його перегріву і підгорання контакту) паралельно включені шунтовий $R_{ш}$ та підгоночний R_n опори. Сумарний опір блоку реохорду (R_p , $R_{ш}$, R_n) підганяється до стандартного значення 90 чи 126 Ом, яке має назву еквівалентний опір. Така уніфікація вузла реохорду, який змонтовано в окремому корпусі, забезпечує взаємозамінність їх в процесі експлуатації.

Електронний міст працює таким чином. При зміні температури середовища, в якій знаходиться термоперетворювач R_t , змінюється його температура, а отже, і величина електричного опору. Вимірювальний міст розбалансується і в його діагоналі bd з'явиться напруга небалансу U_{bd} . Ця різниця потенціалів мала - приблизно декілька мілівольтів - тому вона подається на електронний підсилювач ЭУ, в якому посилюється напруга (УН) і потужність (УМ) до значення, достатнього для обертання реверсивного двигуна РД. Реверсивний електродвигун являє собою однофазний асинхронний двигун конденсаторного типу. Обмотка статора живиться від мережі перемінного струму, ротор двигуна коротко замкнений, типу "білячого колеса", і може обертатися за чи проти годинникової стрілки ("реверс" має значення руху "вперед-назад") в залежності від знаку напруги поданої на нього. Величина і знак напруги залежить від розбалансу мостової вимірювальної схеми. На вісі реверсивного двигуна закріплено диск реохорду, який механічно (капроновими тросиками) зв'язаний з кареткою реєструючого пристрою РУ. В нього вмонтовано стрілку-вказівник і перо.

За один оберт ротору реверсивного двигуна відбувається

переміщення движка по реохорду, стрілки і пера по шкалі приладу в ту чи іншу сторону до тих пір, доки вимірювальний міст не прийде в становище рівноваги. Напряга на вході електронного посилювача ЕУ в цьому випадку стане дорівнювати нулю, електродвигун РД зупиниться, а прилад покаже нове значення температури, що вимірюється. Запис показників здійснюється в прямокутних координатах на діаграмному папері, який переміщується в одному напрямку і з швидкістю, що задається стрічкопротяжним механізмом.

Похибка показників приладу залежить від ретельності підгонки опорів з'єднувальних провідників $R_{\text{л}}$ і $R'_{\text{л}}$ і того значення, при якому було проведено градування електронного мосту заводом-виробником. Це значення опору провідників зв'язку вказано на шкалі чи в паспорті приладу. Якщо опір кожного з'єднувального провідника буде меншим від вказаного на шкалі, то до них послідовно включаються додаткові опори $R_{\text{д}}$ і $R'_{\text{д}}$.

В виробничих умовах термоперетворювач опору може знаходитися на значній відстані від вторинного приладу (навіть в іншому корпусі). Прокладка з'єднувальних провідників може бути здійснена на відкритому просторі (в траншеях) чи в приміщеннях з температурою, яка змінюється (котельня, цех, коридор і т.д.). При коливаннях температури оточуючого середовища величина опору з'єднувальних провідників буде змінюватись і вносити похибку в показання електронного мосту.

Для практичного усунення вказаної похибки використовується трипровідникова схема з'єднань термоперетворювача з вторинним приладом, яка полягає в тому, що вершина мосту a (рис. 1.2) переноситься (прокладкою третього провідника) безпосередньо до термоперетворювача $R_{\text{т}}$ (рис. 1.3). При цьому опір одного провідника $R_{\text{л}}$ додається до плеча ad , а опір $R'_{\text{л}}$ - до суміжного плеча ab . В стані рівноваги мосту додержується рівність

$$R_{\text{ад}} \cdot R_{\text{bc}} = R_{\text{аб}} \cdot R_{\text{cd}}$$

Отже, зміна опору з'єднувальних провідників, які входять до різних частин рівняння, не буде впливати на показання приладу, тому що вони рівні за абсолютною величиною (провідники складаються одним жмутом).

З віссю реверсивного двигуна механічно можуть бути зв'язані регулюючі чи сигналізуючі пристрої. Наприклад, ізодромний пневматичний регулятор, пропорційний (реостатний) електричний, одно, двох і трипозиційні контактні електричні устрої для регулювання і сигналізації граничних значень параметру та ін.

Наша промисловість випускає автоматичні електронні мости різних типів: з дисковою шкалою, показуючі (КПМ), самописні з прямокутною шкалою (КСМ, ЭМП, МС), зі шкалою, що обертається (ЭВМ) та інші модифікації, їх принципові схеми аналогічні тим, що вище описана, і відрізняються тільки по конструкції окремих вузлів. Принцип мостової вимірювальної схеми закладено в більшості приладів контролю властивостей і складу речовин - в газоаналізаторах, аналізаторах складу рідин, вологомірах та інших, тому що вона забезпечує велику точність і чутливість приладів.

Електронні мости, що застосовують для вимірювання температури, мають, як правило, високий клас точності - 0,5, який вказується на шкалі чи в паспорті приладу. При підключенні до них термоперетворювачів треба звернути увагу з яким типом датчику він може працювати. Для цього на шкалу наноситься знак градування, наприклад : гр.23 означає, що даний прилад має градування шкали заводом-виробником для роботи в комплекті з мідним термоперетворювачем опору (ТСМ) у якого номінальний опір при 0°С рівняється 53 Ом (див. табл.1.1). Заміна типів термоперетворювачів в процесі експлуатації недопустима, тому що потребує заміни шкали градування електронного мосту.

Експериментальна частина:

Завдання:

- ознайомитися з будовою термоперетворювачів опору та автоматичних електронних мостів типу КВМ і КСМ;
- провести перевірку приладів та оцінити їх придатність для промислової експлуатації, виходячи з допустимої похибки і класу точності приладу (по паспортам цих приладів);
- виконати регулювання температури в печі для двох заданих режимів та оцінити точність регулювання.

Опис експериментальної установки

Схема установки для перевірки електронних мостів і регулювання температури представлена на рис. 1.4.

В установці використовуються: керамічна піч 1 з електричним нагрівом 2, платиновий термоперетворювач опору 3 (ТСП гр.21) з електронним показуючим і регулюючим мостом 4 типу КВМ, мідний термоперетворювач опору 5 (ТСМ гр.23) з електронним реєструючим мостом 6 типу КСМ, проміжне реле 7 і перемикачі режимів (тумблери) 8 і 9. Включення живлення печі здійснюється ключем КВ.

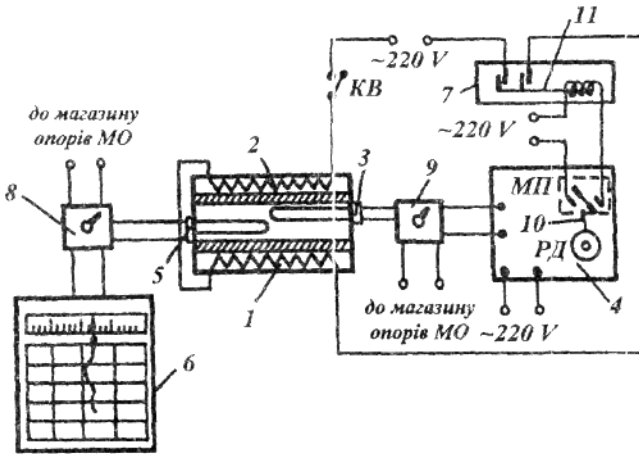


Рис. 1.4. Експериментальна установка для перевірки електронних мостів і регулювання температури в печі

Установка працює в двох режимах: перевірка електронних мостів і регулювання температури печі. Режим роботи кожного приладу вибирається індивідуальними тумблерами 8 і 9.

Перевірка електронних мостів

В режимі перевірки мосту його тумблер встановлюється в положення "до магазину опорів". Живлення печі має бути виключено ключем КВ, В цьому випадку до приладу приєднується магазин стандартних опорів МС (замість термоперетворювача опору). Попередньо необхідно ознайомитись з його устроєм і роботою по па-

спорту.

Повірку автоматичних мостів належить проводити на усіх цифрованих позначках шкали в прямому і зворотному напрямку шляхом зміни опору переносного лабораторного магазину, який підключається до приладу. Величину опору для кожного значення температури, що повіряється, необхідно вибирати відповідно до градування мосту із таблиці, яка надається до його паспорту.

Показання приладу записуються в протокол згідно з додатками.

Регулювання температури в печі

Перед початком виконання цієї частини роботи необхідно засвоїти устрій і правила установки завдання регулятора електронного мосту типу КВМ для підтримання заданої температури в печі. В режимі регулювання температури тумблер 8 має бути встановлено в положення КСМ, тумблер 9 - в положення КВМ. При цьому до електричних мостів підключаються відповідно термоперетворювачі 5 і 3. Після встановлення завдання регулятору приладу 4 необхідно замкнути ключ живлення електронагріву печі КВ. Стрілки мостів поступово підуть в сторону заданої температури. Якщо температура досягла заданої величини палець 10 електричного контактного устрою мосту 4, що механічно зв'язаний з реверсивним двигуном РД, розмикає контакти мікроперемикача МП, який відключає струм на котушку проміжного реле 7. Якір цієї котушки 11 падає і розмикає контакти ланцюга живлення електронагріву печі. Піч починає охолоджуватися, опір термоперетворювачів 3 і 5 зменшується, реверсивний двигун РД починає обертатися в зворотну сторону і захоплює палець регулятору 10. Мікроперемикач МП за допомогою вбудованої в нього пружини замикає свої контакти, і в ланцюзі нагріву печі знову з'являється струм. Таке регулювання називається позиційним і характеризується або наявністю повного сигналу, або його відсутністю, тобто "ввімкнено-вимкнено". Використовується частіше за все для технологічних процесів з великою похибкою регулювання чи для сигналізації граничних значень температури в апараті.

По запису на діаграмному папері електронного мосту КСМ можна судити про точність підтримання заданої температури, а

також про інерційність об'єкту регулювання при переході до нового температурного режиму.

Результати записують в протокол і вказують у відносних одиницях похибку регулювання параметру.

Контрольні питання:

1. Призначення приладів, які вивчено в процесі підготовки до занять.
2. Принцип роботи термоперетворювачів опору та їх види.
3. В чому полягає принцип роботи рівноважних мостів?
4. З яких основних вузлів складаються автоматичні електронні рівноважені мости?
5. Як відбувається позиційне регулювання температури в печі?
6. В яких приладах використовуються електронні мости і в чому полягають їх переваги?

Додаток 1

ПРОТОКОЛ

Повірки
типу _____

шкала _____, клас _____, точності _____ приладу
(КТП) _____
працює на _____ струмі, градуювання _____
Повірка проводилась за допомогою _____
типу _____ при температурі навколишнього середовища _____ °С

Примітка: Приведена відносна похибка відзначається, як відношення абсолютної похибки до максимального значення шкали приладу і виражається в % — клас точності приладу, який вказано на його шкалі чи в паспорті.

Додаток 2

Протокол (приклад)

повірка Міст типу КСМ-2
 шкала 0-100 °С клас точності (КТП) 0.5
 працює на перемінному струмі градуювання гр.
 23
 повірка проводилась за допомогою магазину опору
 типу МСР-63 клас точності 0.05
 при температурі навколишнього середовища 20
 °С

Приведена відносна похибка, % розраховувалась по формулі:

$$\text{КТП} = (\Delta t - 100\%) / \text{Д.Ш.},$$

де Δt - абсолютна середня похибка, тобто відхилення від показань зразкового (табличне значення) і приладу, що піддається повірці; Д.Ш. - діапазон шкали приладу, що піддається повірці.

Результати експерименту перевірки класу точності моста типу КСМ

Табличні дані		Показання ° приладу, °С		Абсолютна похибка, °С			Приведена відносна похибка, %
°С	Ом	прямі	зворотні	пряма	зворотна	середня	
0	53.00	1	1	1	1	1.0	0.4
20	57.52	20	19	0	1	0.5	0.2
40	62.03	39	40	1	0	0.5	0.2
60	66.55	61	60	1	0	0.5	0.2
80	71.06	81	81	1	1	1.0	0.4
100	75.58	100	100	0	0	0	0.0

Для температури 0 °С:

$$\Delta t_1 = 2^\circ\text{C}; \Delta t_2 = 1^\circ\text{C}; \Delta t_3 = 1.5$$

$$\text{КТП} = (1.5 \cdot 100\%) / 250 = 0.6\%$$

Подібним чином заповнюється таблиця для інших температур.

Висновок: Тому що приведена відносна похибка, яка розрахована на підставі експериментальних даних, більше ніж клас точності приладу то можливо зробити висновок: "Прилад не відповідає своєму класу точності і не придатний для подальшої експлуатації".

ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНІ ТЕРМОМЕТРИ

Термоелектричний термометр представляє собою комплект приладів для вимірювання температури, який складається з термопари і вторинного приладу - мілівольметра чи потенціометра.

. Принцип роботи і види технічних термопар

В основу вимірювання температури термопарами покладено принцип термоелектричного ефекту. Він полягає в тому, що в замкнутому ланцюзі, який складається з двох різнорідних провідників, виникає електричний струм, коли хоча б два місця їх сполучення (спаю) мають різну температуру. При цьому виникає термоелектрорушійна сила (ТЕРС), пропорційна цієї різниці температур.

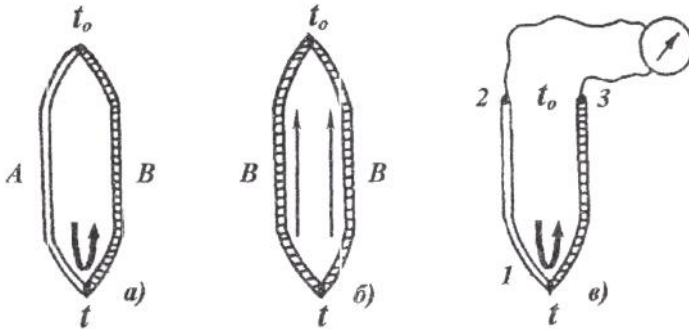


Рис. 1.5. Принципова схема термопар: а) термопара з двох різнорідних провідників; б) термопара з однорідних провідників; в) включення вимірювального приладу в ланцюг термопар

Ланцюг, який складається з двох різнорідних провідників (рис.1.5,а), має назву термопари. Спай з температурою t , має назву гарячого або робочого, а спай, який має сталу температуру t_0 - холодного або незалежного. Провідники А і В мають назву термоелектродів. Термоелектричний ефект пояснюється наявністю в метали незалежних електронів, число яких в одиниці об'єму буде різною для різних металів. Якщо в електроді А незалежних електронів більше, ніж електронів в В, то в спаї з температурою t електрони з металу А дифундують в метал В у більшій кількості ніж в зворотному напрямку. Тому провідник А заряджається позитивно, а провідник В -негативно.

Якщо спаяні однорідні провідники (рис. 1.5, б), кінці яких нагріті до різних температур, то вільні електрони дифундують з більш нагрітих частин провідника до менш нагрітих частин провідника з більшою інтенсивністю, ніж в зворотному напрямку. Більш нагріті кінці провідників заряджаються позитивно до тих пір, доки не настає рівноважне становище за рахунок утвореної різниці потенціалів, яка діє в напрямку, зворотному тепловій дифузії електронів.

Таким чином, сумарна ЕРС термопари

$$E_{AB(t, t_0)} = e_{AB(t)} + e_{BA(t_0)} \quad (1.2.1)$$

Якщо температура спаїв однакова, то ТЕРС в ланцюзі дорівнює нулю, тому що в обох випадках утворюються ТЕРС, які рівні за величиною і спрямовані назустріч одна одній. Отже, при $t = t_0$:

$$e_{AB(t_0)} = - e_{BA(t_0)} \quad (1.2.2)$$

Якщо підставити вираз (1.2.2) до виразу (1.2.1), одержимо

$$E_{AB(t, t_0)} = e_{AB(t)} - e_{AB(t_0)} \quad (1.2.3)$$

Якщо підтримувати температуру одного із спаїв сталою, наприклад, $t_0 = 0 \text{ } ^\circ\text{C} = \text{const}$, одержимо

$$E_{AB(t, t_0)} = f(t) \quad (1.2.4)$$

Якщо для даної термопары експериментально, тобто шляхом градування, знайдена залежність (1.2.4), то вимірювання температури зводиться до визначення ТЕРС термопары. Для вмикання вимірювального приладу необхідно розірвати електричний ланцюг термопары чи в спаї 10, чи в одному з термоелектродів. Частіше за все це роблять за схемою, що приведена на рис. 1.5, в. В цьому випадку у термопары буде три спаї: один гарячий (1) і два холодних (2 і 3). При цьому обов'язковою умовою буде підтримання однакової температури спаїв в місцях розриву термопары (отже спаїв 2 і 3). Тільки в цьому випадку ТЕРС термопары не буде змінюватися від введення в її ланцюг третього провідника. Спосіб виготовлення спаїв (зварка чи пайка) не впливає на величину ТЕРС, якщо тільки розміри їх такі, що температура усіх точок однакова. Для уникання відтворення паразитних ТЕРС в місцях спаїв 2 і 3 з'єднання термопар з вторинними приладами здійснюється термоелектродними (компенсаційними) провідниками, які виготовлені з таких же матеріалів, що й сама термопара, чи з інших сплавів, що близькі до неї по своїм властивостям. Конструктивно термопара представляє собою два дроти з різнорідних металів, кінці яких при зварюються чи спаюються. Термоелектроди між собою звичайно ізолюються одноканальними чи двоканальними фарфоровими трубками (або бусами) і розміщуються в захисному кожусі.

По матеріалу електродів термопару можна створити з будь якої пари різнорідних провідників. Але не всяка термопара буде придатною для практичного використання, тому що сучасна техніка пред'являє до матеріалів електродів певні вимоги:

- стійкість матеріалу до впливу високих температур;
- сталість ТЕРС протягом тривалого часу;
- достатньо велика ТЕРС та однозначна залежність її від температури;
- невеликий температурний коефіцієнт опору самих провідників і велика їх електрична провідність;
- відтворення термоелектричних властивостей, що забезпечує взаємозамінність термопар.

Усім цим вимогам не задовольняє ні один з відомих термоелектродних матеріалів. Прийнято п'ять основних типів технічних

термопар з металевими електродами, характеристики яких представлені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2
Основні дані термопар

Матеріал термо-електродів	позначення градування	Границя вимірювання			ТЕРС, мВ (при $t=100^{\circ}\text{C}$ і $t_0 = 0^{\circ}\text{C}$)
		нижня	верхня	коротко-часна	
Платинородій (10% Rh+90% Pt) Платина (Pt)	ПП-1	-20	+1300	+1600	0,643
Платино сюдій (30% Rh+70% Pt) - платинородій (6% Rh+94% Pt)	ПР-30/6	+300	+1600	+1800	0
Хромель-алюмель	ХА	-50	+1100	+1300	4,10
Хромель-копель	ХК	-50	+600	+800	6,95
Сплав НК-СА	НС	+300	+1000	—	0

Платинородій - платинові (типу ТПП) і платинородій - платино-родієві термопари (тип ТПР) по жаростійкості і сталості ТЕРС являються кращими з усіх, що існують. Вони виготовляються звичайно з дроту діаметром 0,5 чи 1 мм і при правильній експлуатації зберігають сталість свого градування досить тривалий час. До недоліків цього типу термопар треба віднести малу величину ТЕРС, яку вона розвиває.

Хромель-копелева термопара (тип ТХК) розвиває найбільшу ТЕРС з усіх стандартних термопар, що дозволяє виготовляти термоелектричні термометри з вузькою температурною шкалою, наприклад, з діапазоном 0-300 °С, 200-500°С, та ін.

Термопари з сплаву НК-СА (типу ТНС) не потребують введення поправки на температуру холодних спавів (t_0) чи їх термостатування, тому що ТЕРС, яка розвивається термопарою в діапазоні температур до 200 °С, практично дорівнює нулю. Для всіх інших термопар (крім типу ТПР) у вимірювальну схему вторинного при-

ладу вводяться спеціальні елементи, які компенсують зміну температури холодних спаїв, тобто виключають вплив цього змінення на похибку приладу при зміні температури оточуючого середовища.

Принцип роботи та устрій автоматичного електронного потенціометра типу КСП

Принцип потенціометричного методу вимірювання засновано на урівноваженні (компенсації) вимірюваної ТЕРС відомою різницею потенціалів, створеною допоміжним джерелом струму.

В потенціометрі використовується мостова вимірювальна схема, яка забезпечує границі вимірювання, а також автоматично вводить поправку на зміну температури холодних спаїв термопари. Принципова схема автоматичного потенціометра типу КСП показана на рис. 1.6.

Вимірювальна схема потенціометра, як і будь-яка мостова схема, складається з чотирьох плеч ab , bc , cd , da і двох діагоналей: живлячої ac , до якої підключено джерело стабілізованого живлення ИПС, і вимірювальної bd . Вимірювальна діагональ включає термопару (t, t_0) , електронний посилювач ЕУ та реверсивний двигун РД і реєструючий пристрій РУ.

Всі опори вимірювальної схеми потенціометра, крім R_k , виготовляються з манганіну - сплаву, у якого в інтервалі температур $0-200$ °С опір практично не змінюється. Отже, опори R_1 , R_2 , R_3 , являються сталими і не залежать від температури оточуючого середовища в умовах експлуатації потенціометра. Опір R_k призначено для компенсації похибок, зв'язаних зі зміною температури холодних спаїв термопари t_0 . Він виготовляється з мідного чи нікелевого дроту і розміщується поблизу холодних спаїв термопари, тобто не в корпусі потенціометру, а на об'єкті, де установлена термопара. Призначення опору R_y - попередня установка струму в живлячій діагоналі ac , R_p - опір реохорду, призначений для урівноваження вимірювальної схеми моста. Реохорд являє собою калібрований опір з манганінового дроту, який намотано на диск і закріплено на вісь реверсивного двигуна РД. Таким чином, реохорд може обертатися в ту чи іншу сторону в залежності від повороту ротора реверсивного двигуна, контакт d (двигок реохорду) закріплюється на конструкції непорушно.

Для захисту реохорду від перевантаження струмом (для уникнення його перегріву і підгорання контакту) паралельно включені шунтовий $R_{ш}$ та підгоночний $R_{п}$ опори. Сумарний опір блоку реохорду ($R_p, R_{ш}, R_{п}$) підганяється до стандартного значення 90 чи 126 Ом, яке має назву еквівалентний опір. Така уніфікація вузла реохорда, який змонтовано в окремому корпусі, забезпечує взаємозамінність їх в процесі експлуатації.

Потенціометр працює наступним чином. ТЕРС термопари включена назустріч ЕРС джерела стабілізованого живлення ИПС. Вимірювана ТЕРС компенсується падінням напруги на опорах R_1 і R_k а також на частині опору R_p , величина якого залежить від положення движка реохорда. Якщо ТЕРС термопари дорівнює падінню напруги на вказаних опорах, то на вершинах b і d вимірювального мосту з'являється різниця потенціалів (розбаланс; мостової схеми). Ця різниця потенціалів мала (близько декількох мілівольтів), тому вона подається на електронний посилювач ЕУ, в якому постійний струм перетворюється на перемінний за допомогою віброперетворювача (ВП), а потім сигнал посилюється по напрузі (УН) і потужності (УМ) до значення, достатнього для обертання реверсивного двигуна (РД). При його обертанні відбувається переміщення движка по реохорду в ту чи іншу сторону до тих пір, поки вимірювальний міст не прийде до стану рівноваги. Напруга на вході до електронного посилювача ЕУ в цьому випадку стане рівнятися нулю, електродвигун РД зупиниться, а прилад покаже температуру, яку вимірюють, тому що його стрілка і перо механічно зв'язані з віссю реверсивного двигуна.

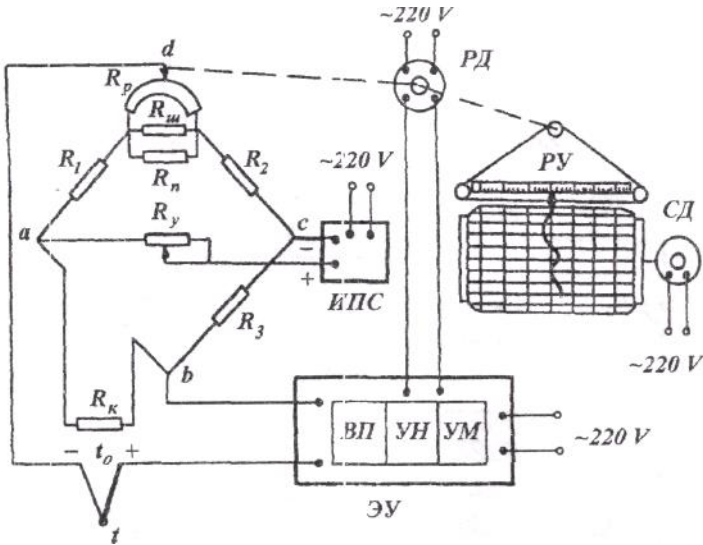


Рис. 1,6. Принципова схема автоматичного електронного потенціометру типу КСП

Поряд з широким використанням для вимірювання температури, потенціометри використовуються як вторинні прилади в газоаналізаторах, рН-метрах, автотитрометрах, хроматографах та інших вимірювачах складу і властивостей матеріалів.

Завдяки компенсаційному методу вимірювання ЕРС потенціометри мають високу точність. Промислові автоматичні потенціометри мають, як правило, клас точності 0,5 (вказується на шкалі приладу чи в паспорті).

Експериментальна частина

Завдання:

- ознайомитися з будовою автоматичних потенціометрів типу КСП2-005 і КСП4;
- провести перевірку приладів і, виходячи з допустимої похибки (по паспорту), оцінити їх придатність для промислової експлуатації;
- здійснити регулювання температури в печі для двох заданих

Повірку потенціометру треба проводити на всіх оцифрованих поділках шкали в прямому і зворотному ході, подаючи на нього напругу від переносного потенціометра. Величину ЕРС для кожного повір'яємого значення температури необхідно вибирати в залежності від градуювання приладу з таблиці, яка прикладена до його паспорту.

Показники приладу записуються до протоколу по формі додатків.

Регулювання температури в печі

В режимі регулювання температури тумблер 6 встановлюється на підключення термопар. Після установки завдання регулятора необхідно замкнути ключ живлення електронагріву печі КВ. Стрілка потенціометра поступово піде в бік більш високих температур. Якщо температура досягла завданої, палець 7 електричного контактного регулятора, що механічно зв'язаний з реверсивним двигуном, розмикає мікроперемикач МП і струм не подається на котушку проміжного реле 5. Якір котушки 8 падає і розмикає контакти ланцюга живлення електронагріву печі. Піч починає охолоджуватися, ЕРС термопар зменшується, реверсивний двигун РД починає обертатися в зворотний бік і захоплює за собою палець регулятора 7. Мікроперемикач МП замикає свої контакти під дією вбудованої в нього пружини, в ланцюзі нагріву печі з'являється струм. Таке регулювання називається позиційним і характеризується або присутністю повного сигналу, або його відсутністю, тобто "ВИМКНЕНО-ВИМКНЕНО".

Контрольні запитання:

1. Для чого призначений вивчений прилад?
2. Яке фізичне явище є основою роботи термопар?
3. В чому сутність компенсаційного методу вимірювання ЕРС?
4. З яких основних вузлів складається автоматичний потенціометр?
5. Як проводиться регулювання температури печі?
- б. Де використовуються автоматичні потенціометри?

Додаток 1

ПРОТОКОЛ

Повірки _____

Типу _____

Шкала _____, клас точності приладу (КТП) _____ працює на _____ струмі, градуювання _____

Повірка проводилась за допомогою _____ типу _____ при температурі навколишнього середовища _____ °C

Примітка: Приведена відносна похибка відзначається, як відношення абсолютної похибки до максимального значення шкали приладу і виражається в % — клас точності приладу, який вказано на його шкалі чи в паспорті.

Додаток 2

Протокол (приклад)

повірки Потенціометр типу КСП-4
шкала 0-250 °C клас точності (КТП) 0.5
працює на перемінному струмі градуювання ХК
повірка проводилась за допомогою потенціометру постійного струму
типу ПП-63 клас точності 0.05
при температурі навколишнього середовища _____ °C 20

Результати експерименту перевірки класу КСП точності потенціометра типу

Табличні дані		Показання приладу, °С		Абсолютна похибка, °С			Приведена відносна похибка, %
°С	мВ	прямі	зворотні	пряма	зворотна	середня	
0	0	2	1	2	1	1.5	0.6
50	0,35	52	51	2	1	1.5	0.6
100	6.95	102	101	2	1	1.5	0.6
150	10,62	151	150	1	0	0.5	0.2
200	14,66	201	201	1	1	1.0	0.4
250	18,77	252	251	2	1	1.5	0.6

Приведена відносна похибка %, розраховувалась по формулі:

$$КТП = (\Delta t \cdot 1000\%) / Д.Ш.,$$

де Δt - абсолютна середня похибка, тобто відхилення від показань зразкового (табличне значення) приладу і приладу, що піддається повірці; Д.Ш. -діапазон шкали приладу, що піддається повірці.

Для температури 0 °С:

$$\Delta t_1 = 2 \text{ °С}; \Delta t_2 = 1 \text{ °С}; \Delta t_3 = 1.5; КТП = (1.5 \cdot 100 \%) / 250 = 0.6 \%$$

Подібним чином заповнюється таблиця для інших температур.

Висновок: Так як приведена відносна похибка, яка розрахована на підставі експериментальних даних, більше ніж клас точності приладу то можливо зробити висновок "Прилад не відповідає своєму класу точності і не придатний для подальшої експлуатації".