

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до лабораторних робіт з курсу «Контроль та керування
хіміко-технологічними процесами»**
для студентів очної та заочної форм навчання факультету
«Технологія неорганічних речовин»

Затверджено
редакційно-видавничою
радою університету,
протокол № 2 від 25.06.2020 р.

Харків
НТУ «ХП»
2021

Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу «Контроль та керування хіміко-технологічними процесами» для студентів очної та заочної форм навчання факультету «Технологія неорганічних речовин»/ Уклад. В. О. Лобойко, О. В. Пугановський, С. Д. Деменкова, Р. М. Ворожбіян . , – Харків: НТУ«ХП», 2020. – 36с.

Укладачі: В. О. Лобойко,
 О. В. Пугановський,
 С. Д. Деменкова,
 Р. М. Ворожбіян

Рецензент А. О. Бобух

Кафедра автоматизації технологічних систем та екологічного моніторингу

ВСТУП

Технологічні вимірювання є невід'ємною частиною сучасних виробничих процесів. Ускладнення та інтенсифікація виробництва ставлять підвищені вимоги до методів і засобів вимірювання. Незважаючи на постійне вдосконалення приладної бази засобів контролю та керування, методи вимірювання майже не змінюються. В великій мірі точність отримання інформації залежить від правильності вибору методу вимірювання і від якості виконання розрахунку конструкції приладу.

Метою методичних вказівок є ознайомлення студентів із способами вимірювання різноманітних технологічних параметрів, а також закріплення на практиці теоретичних знань з курсу «Контроль та керування хіміко-технологічними процесами». У процесі виконання лабораторних робіт студенти отримують навички з користування вимірювальними приладами і засобами автоматизації сучасних виробництв.

Лабораторна робота 1 ГРАДУЮВАННЯ ТЕРМОМЕТРА ОПОРУ

Мета роботи: ознайомитися із конструкцією електричного термометра опору і методикою вимірювання за його допомогою температури, освоїти методику градуювання електричного термометра опору, провести градуювання електричного термометра опору й установити залежність між температурою й опором.

1.1. Опис експериментального стенда

Експериментальний стенд градуювання електричного термометра опору складається з термометра опору, бачка з водою, у який поміщені термометри

опору й контрольний ртутний термометр, зразкового лабораторного моста, нагрівальної печі і стандартних градувальних таблиць для градуйованих термометрів опору.

Вимірювання температури термометрами опору засновано на властивості провідників змінювати електричний опір при зміні температури. При підвищенні температури електричний опір провідників збільшується, а при зниженні температури – зменшується. Кожному значенню температури відповідає певне значення опору провідника.

Термометр опору складається з тонкого мідного або платиного дроту, що намотаний біфілярно на порцеляновий або слюдяний каркас. Дріт з каркасом є чутливим елементом термометра. Для запобігання від пошкодження чутливого елемента його встановлюють у захисний металевий чохол з головкою, на якій укріплена клемна панель. На зовнішній поверхні головки нанесено градування термометра або тип номінальної статичної характеристики (НСХ). У старій системі позначень використовувався номер градувальної залежності. Наприклад, для платинових датчиків – ТСП гр. 21, ТСП гр. 22 а для мідних датчиків ТСМ гр. 23 і ТСМ гр. 24. У сучасних приладах позначення складається з назви моделі датчика і типу НСХ. Наприклад, ТСМ-1187 50М або ТСП-1187 50П. НСХ відображає матеріал чутливого елемента і його електричний опір при 0 °С (R_0).

У промисловості застосовуються платинові, мідні й інші термометри опору. Платинові термометри застосовуються для вимірювання температури від – 260 до + 1100 °С і мають НСХ 10П, 50П, 100П і 500П. Мідні термометри опору застосовуються для вимірювання температури від –200 до + 150 °С, мають НСХ 10М, 50М, 100М і 2000М. Він являє собою ланцюг, що складається із чотирьох, послідовно з'єднаних опорів:

R_1 і R_2 – баластні опори;

R_p – опір реохорда;

$R_{тс}$ – опір термоперетворювача.

Міст має 2 діагоналі: «АВ» – діагональ живлення і «СD» – вимірювальну, в яку включений нуль-гальванометр НГ.

Принципова схема вимірювального моста показана на рис. 1.1. Вимірювання опору електричного термометра опору зводиться до знаходження співвідношення опорів плечей моста, при якому струм у вимірювальній діагоналі дорівнює нулю. При цьому дотримується рівність

$$R_{TC} \cdot R_1 = R_2 \cdot R_p,$$

звідки

$$R_{TC} = \frac{R_2 \cdot R_p}{R_1}.$$

Знайдений опір термометра визначається за шкалою движка реохорда або за положенням декад магазину опорів. Декади – це десяткові розряди з набором опорів, що позначені на магазині опорів як множники. Наприклад, $\times 0,1$, $\times 1$, $\times 10$ і т.п.

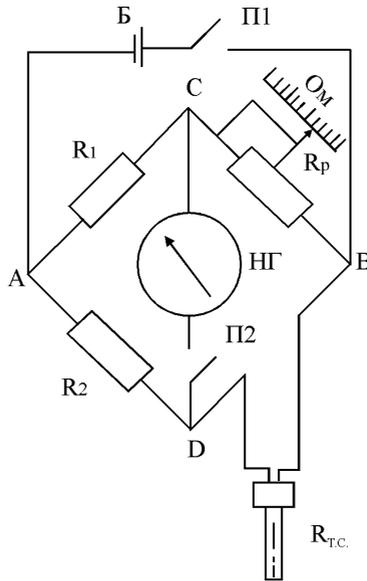


Рисунок 1.1 – Принципова вимірвальна схема градуювання термометра опору

1.2. Порядок виконання роботи

Пристаюючи до роботи, необхідно ознайомитися зі стендом, перевірити його укомплектованість необхідними приладами, оглянути електричні з'єднання, перемикачі й переконатися в їхній справності. Ознайомитися із

конструкцією і конструктивними особливостями термометра опору. Підготувати протокол градування відповідно до таблиці 1.1.

Включити електричну піч і живлення зразкового моста. До затискачів зразкового моста приєднати перемикачем термометр опору, що градується, й декадами опорів зрівноважити міст. Для цього, перемикаючи декади опорів, установити стрілку нуль-гальванометра на нульову оцінку шкали, натискаючи кнопки «Грубо» і «Точно». По оцифрованих поділках перемикачів декад зробити відлік вимірюваного опорів градуйованого термометра.

Таблиця 1.1 – Результати вимірювання температури

Протокол градування електричного термометра опору дата _____, зразковий міст № _____, тип _____, клас точності _____.					
Номер виміру	Темпера- тура, °С	Опір термометра, Ом			
		Експериментальний		Табличний	
		Платинового	Мідного	Платинового	Мідного

Виміряти опір термометра при кімнатній температурі 30 і 40 °С. Після закінчення роботи відключити електричне живлення печі, установити автотрансформатор і зразковий міст у початкове положення.

Результати вимірів занести до протоколу. Побудувати графік градування електричного термометра опору $R_t = f(t)$, відкладаючи на осі абсцис температуру, а на осі ординат – опір.

Визначити опір термометра при 0 °С за формулою

$$R_0 = \frac{R_t}{1 + \alpha \cdot t},$$

де, R_t – виміряний опір при температурі t , °С;

α ~ термічний коефіцієнт опорів матеріалу дроту: $\alpha_{Pt} = 3,9 \cdot 10^{-3} \text{ град}^{-1}$;

$\alpha_{Cu} = 4,27 \cdot 10^{-3} \text{ град}^{-1}$.

Визначити, до якого типу можна віднести градуйований термометр опору, порівнюючи його опір при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ з опором стандартних градувальних таблиць.

1.3. Звіт про роботу

Звіт про лабораторну роботу повинен містити:

- короткий опис порядку виконання роботи;
- схему експериментального стенда;
- протокол за графіком результатів градування.

Контрольні питання

1. Назвіть основні градування електричних термометрів опору.
2. Які вторинні прилади можуть працювати з електричними термометрами опору?
3. Принцип вимірювання температури електричними термометрами опору.
4. Як влаштований електричний термометр опору?
5. Як повинен бути обладнаний стенд для градування термометрів опору?

Лабораторна робота 2

ПОВІРКА ГРАДУЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНОЇ ШКАЛИ ЕЛЕКТРОННИХ АВТОМАТИЧНИХ ПРИЛАДІВ

Мета роботи: вивчити конструкцію вторинного приладу ДИСК-250 і принцип вимірювання ним температури, провести повірку вторинного приладу за допомогою зразкового магазину опорів.

1.4. Принцип дії приладу ДИСК-250

Прилади цього типу призначені для вимірювання сили та напруги постійного струму, а також неелектричних величин, що перетворюються у зазначені сигнали і активний опір.

Прилади розраховані на роботу із вхідними сигналами від термоелектричних перетворювачів і від термоперетворювачів опору, а також

від джерел струмових уніфікованих сигналів. Принципова схема приладу наведена на рис. 2.1.

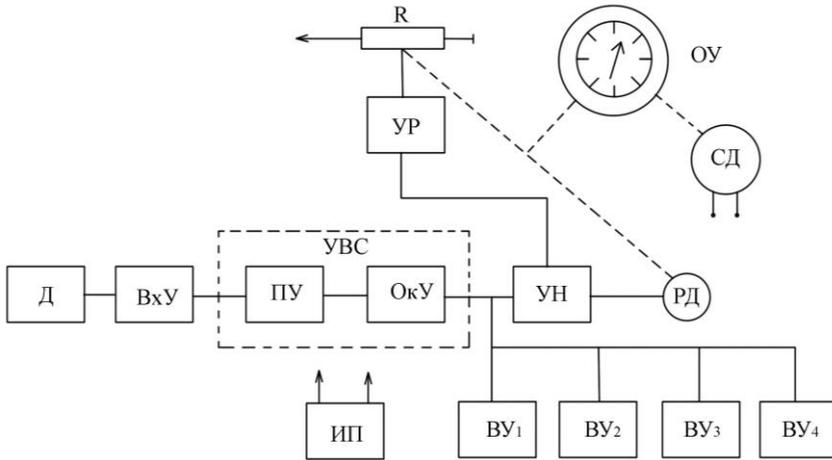


Рисунок 2.1 – Принципова схема приладу Диск-250: Д – датчик; ВхУ – вхідний пристрій; УВС – підсилювач вхідного сигналу; ПУ – попередній підсилювач; ОкУ – остаточний підсилювач; УР – підсилювач сигналу реохорда; Р – реохорд; РД – реверсивний двигун; УН – підсилювач небалансу; СД – синхронний двигун; ОУ – відліковий пристрій; ВУ1–ВУ4 – вихідний пристрій; ИП – джерело живлення

В основу роботи приладу покладений принцип електромеханічного слідкуючого зрівноважування. Вхідний сигнал від датчика попередньо підсилюється і лише після цього відбувається зрівноважування його сигналом компенсуючого елемента (реохорда).

Вхідний сигнал від датчика Д надходить на вхідний пристрій ВхУ, де він нормалізується по нижній межі вимірювання для зручності подальшої його обробки. Крім того, вхідний пристрій містить джерело струму для живлення термоперетворювачів опору або для живлення мідного резистора, призначеного для температурної компенсації зміни термо-ЕРС холодних сплавів

термоелектричних перетворювачів. Це джерело живлення виконане на базі операційного підсилювача (на схемі не показаний).

Потім вхідний сигнал надходить на підсилювач УВС із жорстким негативним зворотним зв'язком, де сигнал нормалізується по верхній межі виміру. Таким чином, з виходу УВС знімається сигнал, нормалізований по нижній і верхній межах вимірів.

Підсилювач вхідного сигналу УВС функціонально можна розділити на попередній підсилювач ПУ та кінцевий підсилювач ОКУ, виконаних на інтегральних мікросхемах.

Сигнал з реохорда R , посилений підсилювачем УР до рівня від $+0,5$ до $+8,5$ В, порівнюється на вході підсилювача небалансу УН із сигналом УВС.

При зміні значення вимірюваного параметра на вході підсилювача УН з'являється сигнал небалансу, який підсилюється цим підсилювачем та керує роботою реверсивного двигуна РД, який, у свою чергу, переміщує двигун реохорда Р доти, поки сигнал з підсилювача УР не стане рівним (за абсолютним значенням) сигналу з підсилювача УВС. Таким чином, кожному значенню вимірюваного параметра відповідає певне положення движка реохорда і пов'язаного з ним покажчика відлікового пристрою приладу ОУ. Діаграмний папір пристрою переміщається синхронним двигуном СД.

Опір обмотки реохорда для всіх градусувочних характеристик і діапазонів вимірів однаковий і становить від 900 до 1000 Ом.

Сигнал з підсилювача УВС надходить на входи підсилювачів вихідних пристроїв ВУ1–ВУ4.

ВУ1 – пристрій перетворення вхідного сигналу у вихідний електричний уніфікований сигнал 0–5 або 4–20 мА;

ВУ2 – трипозиційний регулюючий пристрій;

ВУ3 – пристрій сигналізації про вихід вимірюваного параметра за нижню припустиму межу;

ВУ4 – пристрій сигналізації про вихід вимірюваного параметра за верхню припустиму межу.

Живлення всіх функціональних вузлів приладу здійснюється від джерела стабілізованої напруги ИП.

1.5. Порядок виконання роботи

Схема експериментального стенда для повірки автоматичних електронних приладів наведена на рис. 2.2. Вона складається з приладу ДИСК-250 і зразкового магазину опорів МСР-63.

Пристаюючи до роботи, необхідно ознайомитися із стендом, перевірити укомплектованість необхідними приладами, оглянути електричні з'єднання, перемикачі і переконатися в їх справності. Ознайомитися з конструкцією і конструктивними особливостями електронного автоматичного приладу. Перевірити справність зразкового магазину опорів.

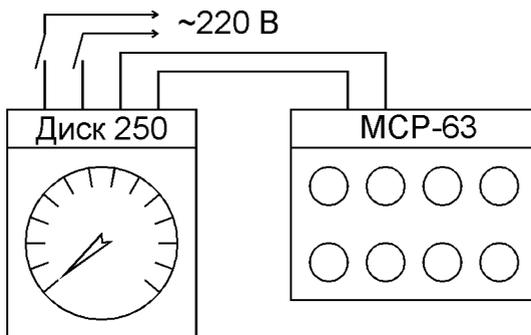


Рисунок 2.2 – Схема експериментального стенда

Використовуючи магазин опорів, встановити стрілку приладу ДИСК-250 якомога точніше на оцифровану відмітку шкали. Відлік проводять у напрямку, перпендикулярному шкалі приладу (очі спостерігача повинні знаходитись на одному рівні з віссю шкали приладу).

Підготувати протокол повірки електронного автоматичного приладу за формою таблиці 2.1.

Включити в мережу 220 В прилад, що повіряється, і дати йому прогрітись протягом 15 хв.

Повірити таким же чином всі оцифровані точки шкали. Провести розрахунок основної похибки за формулою

$$\Delta R = R - R_T,$$

де R – опір, виміряний зразковим магазином опорів ;
 R_T – табличне значення опору.

Таблиця 2.1 – Результати вимірювання

Протокол повірки електронного приладу Диск 250				
№ _____, тип _____, градування _____, межі вимірювання _____, клас точності _____; Зразковий магазин опорів № _____ тип _____ клас точності _____.				
Значення по шкалі, що повіряється, °С	Табличні значення опору, Ом	Значення по магазину опорів, Ом	Основна похибка, Ом	Наведена похибка, %

Визначити наведену похибку електронного приладу для кожного виміряного значення за формулою

$$\delta = \frac{\Delta \bar{R}}{R_K - R_{II}} \cdot 100\%,$$

де R_K і R_{II} – табличні значення опорів, що відповідають кінцю і початку шкали;

$\Delta \bar{R}$ – середнє арифметичне значення основної похибки.

За величиною наведеної похибки визначити фактичний клас точності приладу, що повіряється, порівняти з класом точності, вказаним на його шкалі. Дати висновок про придатність приладу до подальших вимірювань.

2.3. Звіт про роботу

Звіт про лабораторну роботу повинен містити:

- короткий опис пристрою ДИСК-250, його принципову схему;
- методику повірки;
- протокол градування приладу.

Контрольні запитання

1. В який бік пересуватиметься стрілка електронного приладу, якщо замкнути накоротко дроти, що сполучають термометр опору?
2. Яка несправність у приладі, якщо його стрілка переміщається до кінця шкали?
3. Які існують схеми сполучення термоопору з приладом ДИСК-250?

Лабораторна робота 3

ВИМІРЮВАННЯ РІВНЯ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИМ МАНОМЕТРОМ ІЗ ПНЕВМАТИЧНОЮ ПЕРЕДАЧЕЮ НА ВТОРИННИЙ ПРИЛАД

Мета роботи: вивчити принцип дії рівнеміра й комплектуючих приладів, що входять у систему вимірювання рівня, набути практичних навичок у вимірі рівня за допомогою диференціального манометра, проградувати вторинний прилад рівнеміра.

3.1. Принцип дії рівнеміра

Рівень рідини виміряється за гідростатичним тиском її стовпа відповідно до формули

$$H = \frac{P}{\gamma},$$

де P – тиск стовпа рідини; γ – щільність рідини.

Для вимірювання рівня застосовується диференціальний манометр, що вимірює перепад тиску між тиском стовпа рідини й атмосферним тиском. Рівень рідини показує вторинний прилад, що працює в комплекті з диференціальним манометром.

3.2. Опис лабораторного стенда

Схема лабораторного стенда для вимірювання рівня показана на рис. 3.1. Стенд складається з вертикального апарата 1 у вигляді труби, в якому виміряється рівень води. Для візуального спостереження за рівнем апарат має водомірне скло 2. Вода подається в апарат з водопровідного крана. Рівень води в апараті вимірюється диференціальним манометром 3 типу ДМ-ПЗ із

максимальним перепадом тиску 0,01 МПа (1000 кгс/м^2). Перепад тиску, виміряний диференціальним манометром, що відповідає рівню води в апараті, перетворюється у пропорційний тиск стислого повітря від 0,02 до 0,1 МПа.

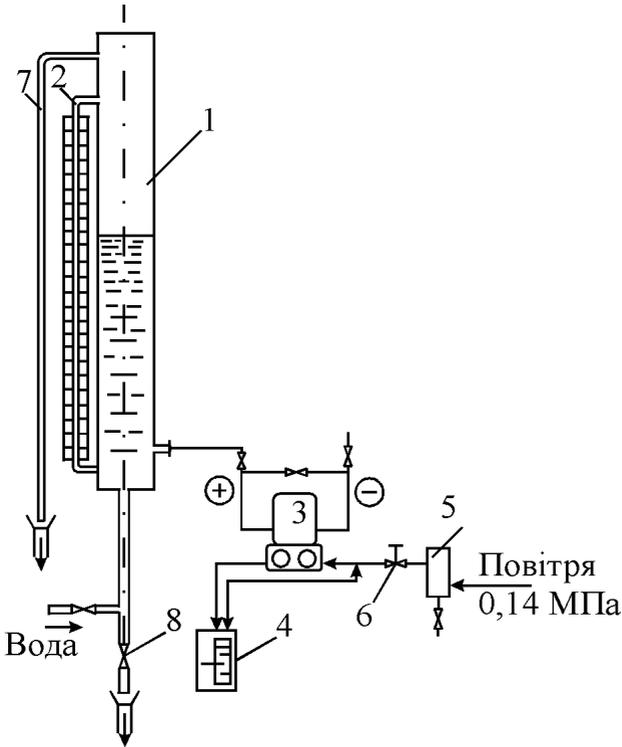


Рисунок 3.1 – Схема лабораторного стенда

Для перетворення тиску використовується пневмоперетворювач типу «сопло – заслінка», що вбудований у диференціальний манометр. Далі сигнал передається на пневматичний вторинний прилад 4 типу ППВ-1А, шкала якого виражена у відсотках вимірюваної величини від 0 до 100 %. Крім того, для живлення стислим повітрям диференціального манометра й вторинного приладу в комплект рівнеміра входять фільтр очищення повітря 5 і редуктор тиску повітря 6.

У випадку переповнення апарата вода зливається в дренаж по трубці 7. Для зливу води з апарата служить кран 8.

3.3. Порядок виконання роботи

Перед включенням установки в роботу необхідно оглянути прилади, що входять у комплект стенда, і переконатися в їхній справності.

Скласти протокол градування вторинного приладу диференціального манометра за формою табл. 3.1

Подати тиск повітря живлення на диференціальний манометр і вторинний прилад. Редуктором тиску встановити по манометру, розташованому на панелі диференціального манометра, тиск повітря 0,14 МПа (1,4 кг/см²). Подати воду в апарат з водопровідного крана. При цьому кран зливу води з апарата повинен бути закритий.

Таблиця 3.1 – Протокол градування вторинного приладу рівнеміра

Номер точки	Рівень по водомірному склу, см.	Тиск на виході дифманометра, МПа (кг/см ²)	Показання вторинного приладу, %

Подаючи воду в апарат, по водомірному склу відраховувати рівень через кожні 10 см і відповідні йому показання манометра тиску командного сигналу на виході диференціального манометра. Одночасно відраховувати показання вторинного приладу. Дані вимірів записати до протоколу градування. Виміри роботи до висоти рівня 130 см.

Визначити зону нечутливості рівнеміра, тобто той мінімальний рівень води в апараті, при якому рівнемір починає «відчувати» його зміну.

По закінченні роботи злити воду з апарата, закрити крани, закрити подачу повітря живлення.

Побудувати графік градування шкали вторинного приладу рівнеміра, відкладаючи на осі ординат проценти шкали приладу, а на осі абсцис – рівень у см.

Побудувати градуирований графік диференціального манометра, відкладаючи на осі ординат тиск повітря на виході диференціального манометра, а на осі абсцис – рівень в апараті.

Контрольні запитання

1. За яким принципом працює рівнемір?
2. Як проводять градуювання рівнеміра?
3. Як перетвориться перепад тиску, виміряний диференціальним манометром, у пропорційний тиск обмеженого повітря?

Лабораторна робота 4 ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ КИСНЮ АВТОМАТИЧНИМ ТЕРМОМАГНІТНИМ ГАЗОАНАЛІЗАТОРОМ

Мета роботи: вивчити конструкцію термомагнітного газоаналізатора, виміряти концентрацію кисню в газовій суміші, визначити похибку газоаналізатора, визначити інерційність газоаналізатора.

4.1. Принцип дії термомагнітного газоаналізатора і його конструкція

Термомагнітні газоаналізатори застосовуються для вимірювання концентрації кисню в газових сумішах. Кисень є парамагнітним газом. Інтенсивність намагнічування кисню I прямо пропорційна квадрату температури, що визначається рівнянням:

$$I = \frac{C \cdot P \cdot M \cdot H}{n \cdot R \cdot T^2},$$

де H – напруженість магнітного поля; M – молекулярна вага кисню; P – парціальний тиск кисню; C – постійна Кюрі; n – число атомів у молекулі кисню; R – універсальна газова постійна; T – абсолютна температура газу.

Електрична вимірювальна схема термомагнітного газоаналізатора показана на рис. 4.1.

Датчик газоаналізатора складається з кільцевої камери з горизонтальною порожньою перемичкою, виконаною з діамагнітної нержавіючої сталі. На перемичці є обмотка із платинового дротика, що складається із двох секцій: R_1 і R_2 . Обмотки нагріваються електричним струмом до температури $180\text{ }^\circ\text{C}$. З лівого боку перемички розташований постійний магніт. Газ надходить у камеру знизу й по кільцю піднімається вгору. При відсутності в газі кисню по перемичці руху газу не буде. При наявності в газі кисню холодний газ із кільця буде притягатися магнітом більше, ніж нагрітий газ у трубці перемички, і в ній почнеться рух газу, причому швидкість газу буде тим більша, чим більше в ньому концентрація кисню. Температури секцій нагрівальної обмотки і їхнього опору будуть залежати від швидкості руху газу по перемичці. Секції нагрівальної обмотки включені в схему вимірювального моста, утвореного резисторами R_1 , R_2 , R_3 і R_4 . Розбаланс напруги з діагоналі моста надходить на вторинний прилад, що показує концентрацію кисню. Вторинним приладом служить електронний автоматичний потенціометр типу КСП-3. Резистор R_5 служить для установки на нуль вторинного приладу. Резистор R_6 служить для регулювання напруги живлення вимірювальної схеми датчика. Вимірювальна схема живиться напругою 15 В постійного струму, що подається від блоку стабілізованого живлення. Для підтримки постійної температури $40\text{ }^\circ\text{C}$ у корпусі датчика є термостат, що складається із двох електричних нагрівачів, контактного термометра й електронного реле.

Для підтримки постійної витрати газу через кільцеву камеру служить ротаметр. Газ просмоктується через кільцеву камеру вакуум-насосом і викидається в атмосферу. Газоаналізатор споживає 200 л/г газу.

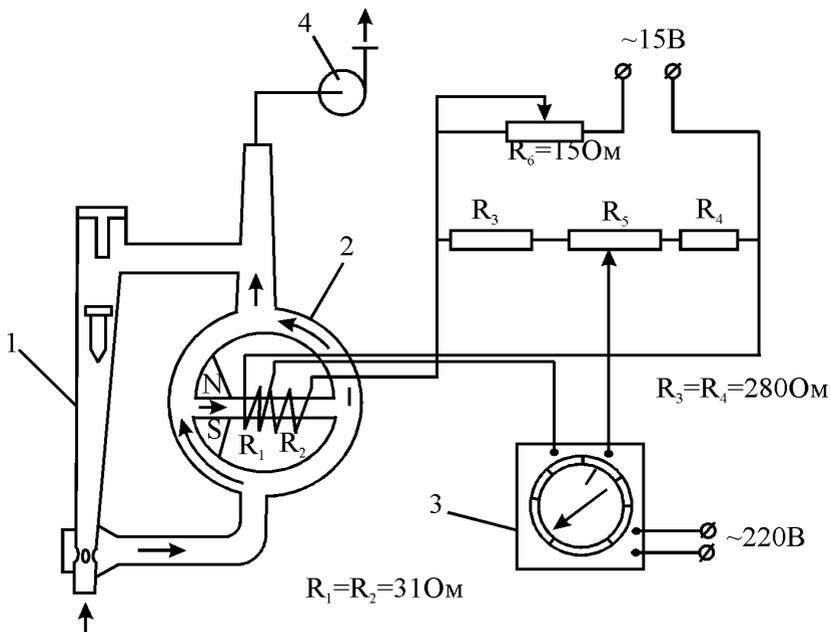


Рисунок 4.1 – Електрична вимірювальна схема термомагнітного газоаналізатора: 1 – ротаметр; 2 – кільцева камера; 3 – вторинний прилад; 4 – вакуум-насос

4.2. Порядок виконання роботи

Перед пуском газоаналізатора необхідно перевірити справність електричних з'єднань, вентилів і трубних проводок.

Подати електричне живлення на блок стабілізованого джерела живлення й на вторинний прилад і дати прогрітися приладам протягом 15 хв. Включити вакуум-насос і відрегулювати витрату повітря по ротаметрі так, щоб його поплавець був на 1/3 шкали ротаметра. При цьому стрілка вторинного приладу повинна показувати 20 % кисню. Відкрити вентиль на балоні з азотом. За допомогою редуктора подати азот у змішувач повітря, відрегулювати його витрату так, щоб поплавець ротаметра встановився на розподілі 1. Записати концентрацію кисню, що показує вторинний прилад. Результати записати в лабораторний журнал.

Скласти протокол випробувань газоаналізатора за формою табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Протокол випробувань газоаналізатора

Номер виміру	Показання автоматичного газоаналізатора, % O ₂	Дійсне значення, % O ₂	Наведена похибка, %	Запізнювання газоаналізатора, с

Після того як газоаналізатор пущений у роботу й стрілка вторинного приладу встановиться на відповідному розподілі шкали, показуючи концентрацію кисню, змінити витрату азоту, установлюючи поплавць ротаметра на розподілі 2, 3, 4 і записати показання вторинного приладу.

Обчислити наведену похибку автоматичного газоаналізатора за формулою:

$$\delta = \frac{C - C_1}{A_K - A_D} \cdot 100\%,$$

де C – концентрація кисню, визначена хімічним газоаналізатором; C_1 – концентрація кисню, що показує автоматичний газоаналізатор; A_K – кінець шкали вторинного приладу, %O₂; A_D – початок шкали вторинного приладу, % O₂.

Визначити запізнювання автоматичного газоаналізатора. Для цього змінити витрату азоту в змішувачі й по секундоміру відзначити час нанесення збурювання. Відзначити час початку рушання стрілки вторинного приладу після зміни витрати азоту. Різниця часу від моменту нанесення збурювання до моменту рушання стрілки вторинного приладу на нове показання дає час запізнювання газоаналізатора.

Після закінчення роботи закрити вентиль на балоні з азотом, виключити вакуум-насос, виключити електричне живлення блоків газоаналізатора.

4.3. Звіт про роботу

Звіт повинен містити короткий опис принципу дії термомагнітного газоаналізатора і його конструкцію, схему газоаналізатора, розрахунки похибки й інерційності газоаналізатора.

Контрольні запитання

1. У чому полягає принцип дії термомагнітного газоаналізатора?
2. Конструкція датчика газоаналізатора і його вимірювальна електрична схема.
3. З яких блоків і приладів складається термомагнітний газоаналізатор?
4. Порядок пуску газоаналізатора в роботу.
5. Як визначити наведену похибку газоаналізатора і його інерційність?

Лабораторна робота 5 ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ОПТИЧНИМИ ПІРОМЕТРАМИ

Мета роботи: вивчити конструкцію і роботу оптичного пірометра, набути практичних навичок вимірювання яскравісної температури нагрітих тіл пірометром, розрахувати дійсну температуру тіла.

5.1. Принцип дії і конструкцію оптичного пірометра

Пірометри призначені для вимірювання температури нагрітих тіл за їх тепловим випромінюванням безконтактним методом, тобто без безпосереднього зіткнення чутливого елемента з вимірюваним тілом. За допомогою пірометрів вимірюють температуру розпеченого метала, температуру в струмах різних установок. Оптичні пірометри (рис. 5.1) – це переносні ручні прилади, що складаються з першого перетворювача (телескопа), сполученого з вимірювальним показуючим приладом, і джерела живлення. Їх застосовують для вимірювання яскравісної температури в межах 800–2000 К.

Теплове випромінювання від об'єкта вимірювання 1 проходить через лінзу-об'єктив 2 і за допомогою лінзи-окуляра 3 фокусується в площині, що відповідає розташуванню нитки пірометричної лампи 4 . У телескопі також встановлене поглинаюче скло 5 і червоний світлофільтр 6 . На нитку пірометричної лампи 4 подають електричний струм від джерела живлення. Для вимірювання яскравості розжарення нитки застосовують реостат R_{δ} .

Змінюючи опір реостата, можна встановити таку силу струму, при якій яскравість нитки пірометричної лампи 4 стане рівною яскравості випромінювання тіла 1. У цьому випадку проводять відлік яскравісної температури за допомогою вбудованого в телескоп мілівольметра 7, проградуйованого в градусах Цельсія, тому що тіла мають рівну температуру при однаковій їхній яскравості.

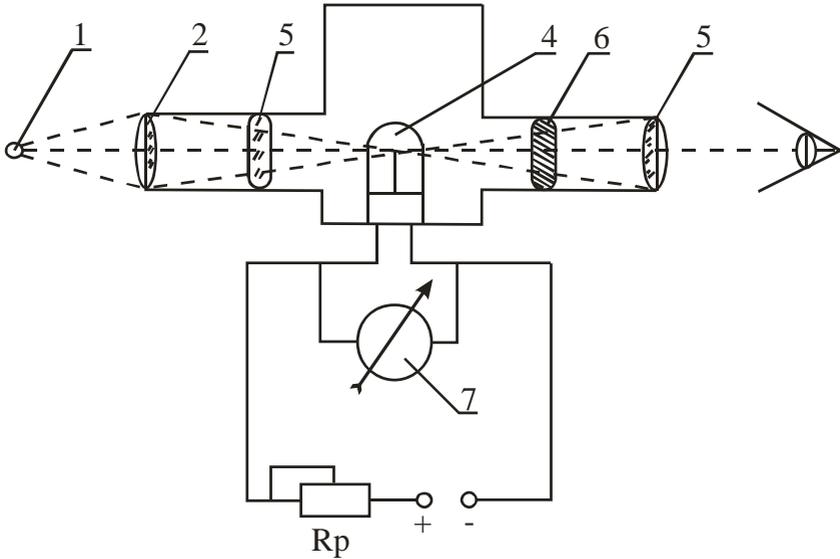


Рисунок 5.1 – Схема оптичного пірометра

Пірометри відградуйовані за абсолютно чорним випромінюванням, і тому випромінювальні здатності пірометричної лампи й реального тіла різні. При практичному вимірюванні яскравісної температури тіла пірометри показують яскравісну температуру, за якою визначають справжню. Для визначення дійсної температури тіла за яскравісною необхідно знати довжину хвилі випромінюваного нагрітого тіла і коефіцієнт теплового випромінювання, (чорності цього тіла), що різний для різних матеріалів і залежить від стану їхньої поверхні й температури.

Оптичний пірометр має дві температурні шкали на границі вимірювання 600–1400 і 1200–2000 °С.

5.2 Порядок виконання роботи

Стенд для вимірювання температури оптичним пірометром складається з оптичного пірометра типу ОППІР-1, об'єкта вимірювання, як такий застосовують розпечену електричним струмом нитку електричної лампи; лабораторного автотрансформатора типу ЛАТР і джерела живлення пірометра для подачі електричного струму напругою 4 В на нитку накалювання пірометра. За допомогою ЛАТРа регулюють яскравість розжарення дроту об'єкта виміру.

Перед виконанням роботи перевіряють справність оптичної системи пірометра й електричних підключень. Температуру тіла в межах 800–1400 °С вимірюють при установці червоного світлофільтра. Якщо температура перевищує 1400 °С, використовують димчастий фільтр.

Вимірювання температури оптичними пірометрами роблять на відстані не більше 5 м від об'єкта. Із цією метою пірометр фокусують на об'єкті так, щоб на тлі зображення розжареної нитки було видно верхню частину дуги нитки накалювання пірометричної лампи. Після фокусування приладу обертання кругової ручки реостата змінюють яскравість нитки пірометричної лампи, домагаючись однакової її яскравості з яскравістю вимірюваного розжареного дроту. На шкалі мілівольметра, що показує, відраховують яскравісну температуру.

Вимірювання температури роблять для 3–4 значень, змінюючи напругу живлення об'єкта за допомогою ЛАТРа. Дані виміри заносять у табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Результати вимірювання яскравісної температури

№ виміру	Напруга живлення по ЛАТРу, В	Температура $T_{я}$, °С

5.3. Обробка результатів вимірів

Визначити дійсну температуру T_D розпеченого тіла за формулою Віна:

$$T_D = \frac{T_J}{1 - \alpha \cdot T_J};$$

$$\alpha = \frac{\lambda}{C_2} \cdot \ln \frac{1}{\xi_{\lambda T}},$$

де T_J – виміряна (яскравісна) температура, °С; λ – довжина хвилі випромінювання тіла ($0,65 \cdot 10^{-6}$ м); C_2 – постійний коефіцієнт ($1,4438 \cdot 10^{-2}$ мК); $\xi_{\lambda T}$ – коефіцієнт випромінювання тіла (0,9).

Результати обчислень заносять у табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Дані розрахунків справжньої температури тіла

№ виміру	Яскравісна температура тіла T_J , К	Дійсна температура T_D , К	Похибка виміру ΔT , К

Обчислюють систематичну похибку температури, обумовлену самим методом визначення, за допомогою оптичного пірометра за формулою

$$\Delta T = T_J - T_D.$$

Дані заносять у табл. 5.2 і визначають загальну похибку пірометра за формулою

$$\Delta_{CP} = \sqrt{\frac{\Delta T_1^2 + \Delta T_2^2 + \dots + \Delta T_n^2}{n-1}},$$

де n – число вимірів.

Установлюють клас точності пірометра за формулою

$$\delta = \frac{\Delta_{CP}}{T_K - T_{II}} \cdot 100\%,$$

де T_K і T_{II} – кінцеве й початкове значення шкали пірометра відповідно.

Будують градуйований графік пірометра, відкладаючи по осі ординат дійсну температуру, а по осі абсцис – яскравісну.

5.4. Звіт про роботу

Звіт про лабораторну роботу повинен містити:

- опис конструкції оптичного пірометра й правила поводження з ним;
- методику вимірювання температури тіл;
- протоколи випробувань;
- результати розрахунків;
- визначення похибки вимірювання та класу точності пірометра.

Контрольні запитання

1. Як влаштований оптичний пірометр?
2. Що таке яскравісна температура тіла?
3. Як визначається дійсна температура розпеченого тіла?
4. Якими перевагами і недоліками характеризується даний метод вимірювання температури?
5. Який принцип роботи оптичного пірометра?

Мета роботи: вивчити конструкцію і принцип дії електроконтактного манометра, освоїти методику настроювання електроконтактного манометра, виміряти зону нечутливості приладу.

6.1. Принцип дії й конструкцію електроконтактного манометра

Електроконтактні манометри застосовують для вимірювання й сигналізації тисків при відхиленні за припустимі межі. Вони можуть також застосовуватися як двопозиційні регулятори тиску (включено – виключено).

Тиск середовища сприймається однаковою трубчастою пружиною. Переміщення кінця манометричної пружини передається на стрілку, що показує тиск, на якій укріплені два електричних контакти. Манометр має дві стрілки, що задають межі тиску, на яких також укріплені електричні контакти. У момент підходу вимірювальної стрілки до однієї зі стрілок, що задають тиск, замикаються контакти, що включають електричний ланцюг світлової або звукової сигналізації. Стрілки, що задають тиск, встановлюють за допомогою кнопки, що перебуває в центрі манометра. Для цього необхідно в шліц кнопки вставити викрутку й при її натисканні й обертанні будуть пересуватися важелі, які повертають стрілки по шкалі манометра. Розривна потужність електричних контактів 10 ВА, максимально припустима сила струму 10 А.

Схема лабораторного стенда для настроювання електроконтактного манометра показана на рис. 6.1.

Стенд складається з електроконтактного манометра типу ЕКМ-1У на межі тиску 0 – 0,6 МПа (0 – 6 кгс/см²), що знижує трансформатор 220/40 В для живлення контактної системи манометра й сигнальних ламп (червоного і зеленого кольорів), що сигналізують про досягнення граничних значень тисків, сигнальної лампи, що вказує на подачу електричного живлення на контакти манометра, редуктора тиску повітря, викрутки для установки контактних стрілок манометра на задані межі тиску. Тиск до манометра подається від компресора.

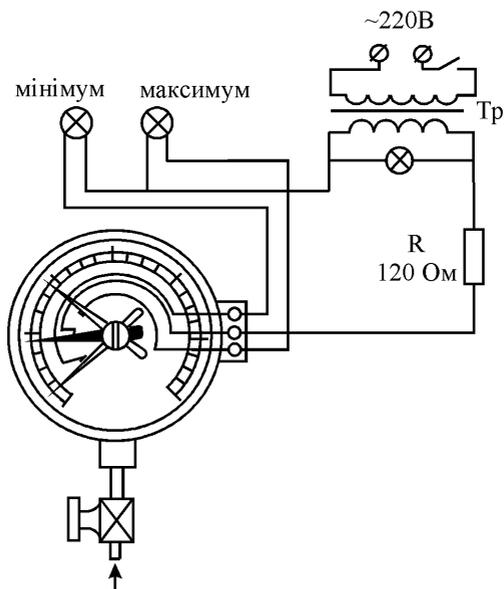


Рисунок 6.1 – Схема лабораторного стенда

6.2. Порядок виконання роботи

Перед включенням електроконтактного манометра в роботу необхідно оглянути прилади, що входять у комплект установки, і переконатися в їхній справності. Роботу виконують у такому порядку.

Включити тумблер електричного живлення на контактну систему манометра. При цьому засвітиться сигнальна лампа на трансформаторі. Включити компресор і коли тиск повітря в ресивері компресора підніметься до 0,3 МПа (3 кгс/см²), подати за допомогою редуктора тиск на електроконтактний манометр. За вказівкою викладача встановити стрілки, що задають тиск, на верхній і нижній припустимі тиски. Підвищуючи редуктором тиск повітря, довести вимірювальну стрілу манометра до стрілки, що задає верхній припустимий тиск. При цьому засвітиться лампа червоного кольору. Знижуючи редуктором тиск повітря, довести вимірювальну стрілку манометра до стрілки, що задає нижній припустимий тиск. При цьому засвітиться лампа зеленого кольору.

Визначити зону нечутливості контактної пристрою, під якою розуміють різницю за шкалою манометра між положеннями, що задається і положеннями вимірювальної стрілки в момент вмикання або вимикання сигнальної лампи. Положення вимірювальної стрілки в цей момент відповідає мінімальній зоні нечутливості.

Для визначення зони нечутливості контактної пристрою верхнього припустимого тиску встановити задаючу стрілку на заданий тиск і за допомогою редуктора підвести вказуючу стрілку до задаючої стрілки і моменту вмикання сигнальної лампи. Потім, знижуючи редуктором тиск, зафіксувати на шкалі манометра тиск, що відповідає моменту вимикання сигнальної лампи. Дані записати до протоколу випробувань. Те ж саме проробити при заданій нижній межі тиску. Зробити обчислення зони нечутливості за формулою

$$\Delta P = P_1 - P_2,$$

де P_1 – задане значення тиску; P_2 – значення тиску, що відповідає моменту вимикання сигнальної лампи. Дані записати до протоколу випробувань.

Таблиця 6.2 – Результати випробувань манометра

Протокол випробувань зони нечутливості електроконтактного манометра типу _____, № _____, межа вимірювання від _____ до _____ МПа, ціна поділу шкали _____, клас точності _____.					
Межі тиску, МПа					
нижній			верхній		
Положення задаючої стрілки	Положення вимірювальної стрілки в момент вмикання лампи	Зона нечутливості	Положення задаючої стрілки	Положення вимірювальної стрілки	Зона нечутливості

Виміряти зону нечутливості контактного пристрою при трьох налаштуваннях манометра.

Скласти протокол випробувань електроконтактного манометра за формою табл. 6.2.

6.3. Звіт про роботу

Звіт про лабораторну роботу повинен містити:

- схему і опис пристрою електроконтактного манометра;
- методику налаштування на задані межі тиску;
- протокол випробувань.

Контрольні запитання

1. Для якої мети застосовуються електроконтактні манометри?
2. Як влаштована і працює система сигналізації електроконтактного манометра?
3. Що називають зоною нечутливості контактного пристрою?

Лабораторна робота 7

ВИМІРЮВАННЯ РІВНЯ БУЙКОВИМ РІВНЕМІРОМ ІЗ СЕЛЬСИННОЮ ПЕРЕДАЧЕЮ НА ВТОРИННИЙ ПРИЛАД

Мета роботи: вивчити принцип дії буйкового рівнеміра й комплектуючі прилади, що входять у систему вимірювання рівня, набути практичні навички у вимірі рівня буйковим рівнеміром, ознайомитися із сельсинною системою передачі показань.

7.1. Принцип дії рівнеміра

Рівень вимірюється за положенням буйка (поплавця), що плаває в рідині. При підвищенні або зниженні рівня рідини буйок переміщується разом з нею. Переміщення буйка передається на перетворювач. Останній пов'язаний із вторинним приладом, що показує рівень.

Сила підйому F буйка при постійному його перетині відповідно до закону Архімеда обчислюється за рівнянням

$$F = \rho \cdot g \cdot \int_0^h S \cdot d \cdot h,$$

де ρ – щільність рідини; g – прискорення сили ваги; S – площа перетину буйка; h – висота занурення буйка.

Протидіюча сила створюється силою ваги буйка G , тобто

$$F = G = \text{const.}$$

Відповідно рівень занурення буйка

$$h = \frac{G}{S \cdot \rho \cdot g},$$

і буйок буде переміщатися разом з рідиною, тобто $h = f(H)$, де H – рівень рідини.

Схема лабораторного стенда для вимірювання рівня буйковим рівнеміром показана на рис. 7.1.

Рівень води виміряється в бачку 1, у якому перебуває буйок 2, підвішений на гнучкому тросику, перекинутому через блок 4. На іншому кінці тросика укріплений вантаж 5 для зрівноважування ваги буйка й для підтримки постійного натягу тросика. Блок механічно пов'язаний з ротором сельсина-датчика сельсинної передачі 6 показань величини вимірюваного рівня на вторинний прилад. Ротор сельсина-приймача механічно пов'язаний зі стрілкою, що показує, вторинного приладу 7. Сельсинна передача живиться напругою 110 В змінного струму від трансформатора 8.

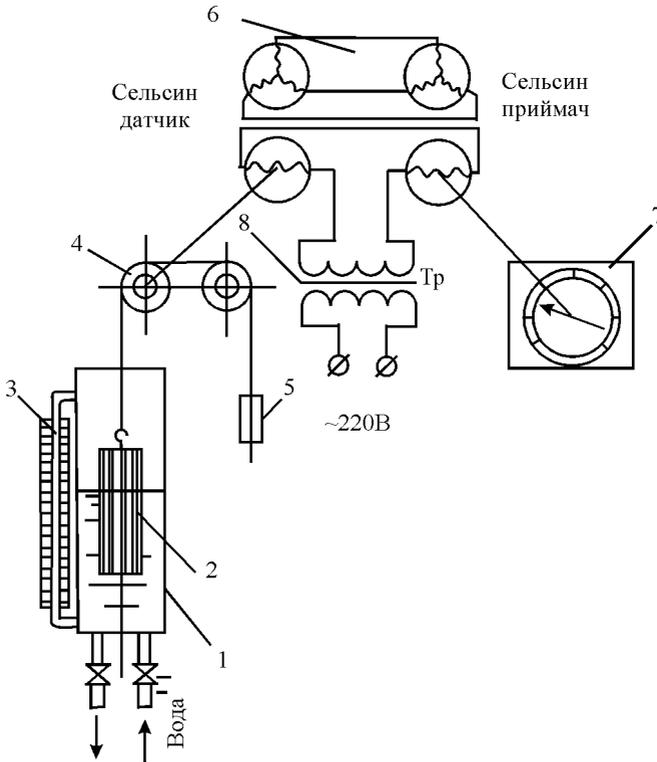


Рисунок 7.1 – Схема стенда для вимірювання рівня буйковим рівнеміром

Сельсин являє собою мініатюрну трифазну електричну машину, ротор якої має однофазну обмотку, а статор – три обмотки, зміщені відносно одна одної на 120° . При такому включенні сельсини працюють як два зустрічно включених трансформатори.

Величина ЕРС у фазових обмотках сельсинів залежить від їхнього просторового положення відповідно однофазної обмотки збудження ротора, що визначається кутом його повороту й може бути визначена за такими рівняннями:

- сельсин-датчик:

$$E_{1g} = E_{MAX} \cdot \cos \alpha,$$

$$E_{2g} = E_{MAX} \cdot \cos(\alpha + 120^0),$$

$$E_{3g} = E_{MAX} \cdot \cos(\alpha + 240^0);$$

- сельсин-приймач:

$$E_{1n} = E_{MAX} \cdot \cos \beta,$$

$$E_{2n} = E_{MAX} \cdot \cos(\beta + 120^0),$$

$$E_{3n} = E_{MAX} \cdot \cos(\beta + 240^0),$$

де E_{MAX} – значення ЕРС при збігу обмоток ротора статора; α – кут повороту ротора сельсина – датчика; β – кут повороту сельсина – приймача.

Якщо в цій системі повертати ротор сельсина-датчика, то ротор сельсина - приймача буде синхронно слідувати за рухом ротора сельсин-датчика. При кожному даному положенні ротора сельсина-датчика ротор сельсина-приймача має тільки одне стійке положення. При відсутності напруги система може бути розузгоджена, але при включенні напруги ротори обох сельсинів знову придуть у колишне погоджене положення. При зміні положення ротора сельсина-датчика щодо статорної обмотки струми в останній стають не рівними струмами в статорній обмотці сельсина-приймача. З'явиться зрівняльний струм, що, взаємодіючи з полем ротора сельсина-приймача, створює крутний момент, який не дорівнює крутному моменту сельсина-датчика. У результаті цього ротор сельсина-приймача буде повертатися доти, поки не зникне зрівняльний струм і крутні моменти сельсинів стануть рівними.

7.2. Порядок виконання роботи

Перш ніж приступити до виконання роботи, необхідно ознайомитися зі стендом, оглянути прилади, що входять в його комплект, і переконатися в їхній справності.

Підготувати протокол градування вторинного приладу рівнеміра за формою табл. 7.1.

Таблиця 7.1 – Протокол градування вторинного приладу буйкового рівноміра

Прямий хід		Зворотний хід	
Рівень по водомірному склу, см	Кут повороту стрілки вторинного приладу	Рівень по водомірному склу, см	Кут повороту стрілки вторинного приладу

Подати воду в бачок і відрегулювати кранами її витрату так, щоб рівень був на половину шкали водомірного скла.

Подати напругу на сельсинну передачу й переконатися в її справності, перевіривши роботу сельсинів.

Приступити до градування вторинного приладу. Для цього, наповнюючи бачок, по водомірному склу відраховувати рівень через кожні 5 см і відповідний йому кут повороту стрілки вторинного приладу. Результати вимірів записати до протоколу. Те ж саме проробити при зниженні рівня.

Визначити зону нечутливості рівноміра, тобто той мінімальний рівень води в бачку, при якому стрілка вторинного приладу почне відхилятися.

Визначити варіацію вторинного приладу рівноміра як різницю показань для того самого значення рівня при прямому й зворотному ході.

Побудувати на міліметровому папері градувальний графік шкали вторинного приладу, відкладаючи на осі ординат кут повороту стрілки вторинного приладу, а на осі абсцис – рівень у бачку по водомірному склу.

По закінченні роботи виключити електричне живлення, злити воду з бачка, закрити кран і приступити до складання звіту.

Контрольні запитання

1. На якому принципі працює буйковий рівномір?
2. Принцип дії сельсинної передачі.
3. Як змінюється ЕРС у фазових обмотках сельсинів?

Лабораторна робота 8

ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ РІДИНИ МЕТОДОМ ПОСТІЙНОГО ПЕРЕПАДУ ТИСКУ

Мета роботи: вивчити принцип дії і конструкцію витратоміра постійного перепаду тиску, виконати градуювання ротаметра з диференційно-трансформаторною вимірювальною схемою, провести градуювання вторинного приладу.

8.1. Принцип дії й конструкція витратоміра постійного перепаду тиску

Витратоміри постійного перепаду тиску складаються з локально розміщеного вимірювального приладу – ротаметра, забезпеченого системою дистанційної передачі показань і вторинного приладу.

Схема комплекту ротаметра з диференційно-трансформаторною системою передачі показань подана на рис. 8.1.

Потік рідини або газу, що проходить через ротаметр знизу вгору, піднімає поплавець 3 доти, поки кільцева щілина, що розширюється, між тілом поплавця й стінками конусної трубки 2 не досягне такої величини, при якій діючі на поплавець сили врівноважуються. При рівновазі сил поплавець установлюється на деякій висоті, пропорційній величині витрати. Трубка 2 кріпиться в корпусі 1. На поплавець жорстко насаджений шток 4, на верхньому кінці якого укріплений сердечник 5 диференційно-трансформаторного датчика. Сердечник міститься усередині розділової трубки 6, на зовнішній стороні якої розміщена котушка датчика, з'єднана з котушкою вторинного приладу.

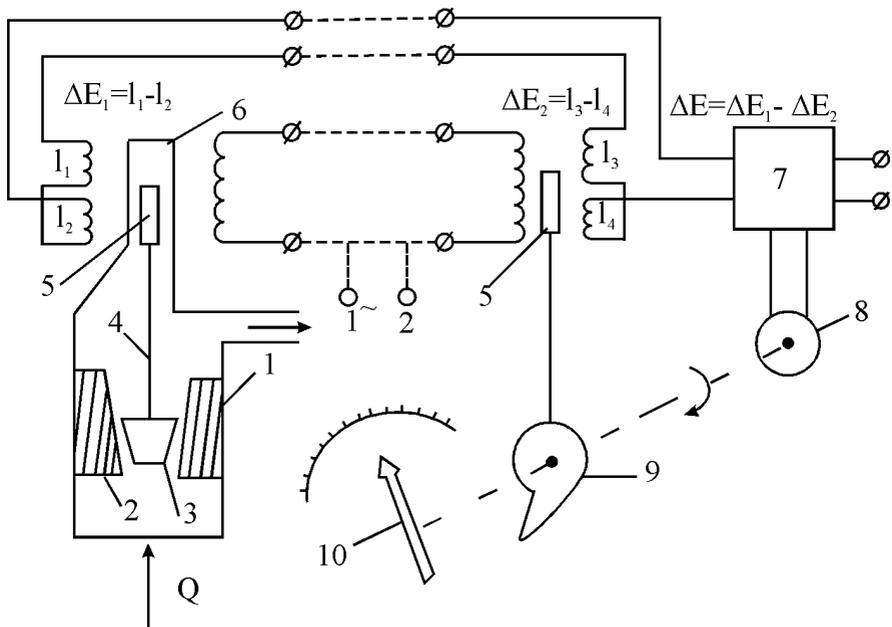


Рисунок 8.1 – Схема комплексу ротаметра

Первинні обмотки обох котушок включені послідовно й споживаються напругою змінного струму від силового трансформатора електронного підсилювача 7. Вторинні обмотки котушок зустрічно включені між собою й приєднуються до входу електронного підсилювача. При незгодженості положень сердечників 5 у котушках ротаметра й вторинного приладу ЕРС, що наводиться у вторинних обмотках, змінюється. При цьому виникає результуюча ЕРС ΔE , значення якої підсилюється в електронному підсилювачі до величини, необхідної для керування реверсивним двигуном 8. На валу двигуна розміщений профільований диск 9, що при обертанні переміщає сердечник 5 у котушці вторинного приладу й установлює його в положення, погоджене з положенням осердя в котушці датчика, що приводить до рівності ЕРС, які наводяться в обох котушках, а, отже, до нового стану рівноваги, при цьому $\Delta E = 0$. Реверсивний двигун, зв'язаний зі стрілкою 10 вторинного приладу, зупиниться.

Схема лабораторного стенда складається з ротаметра типу РЕ, вторинного приладу типу КСД-3 і мірного бачка. Водопровідна вода з лінії

надходить через регулювальний вентиль і ротаметр у мірний бачок. Кількість води, що надходить у мірний бачок, вимірюється водомірною скляною трубкою. Для зливу води з бачка передбачений вентиль.

8.2. Порядок виконання роботи

Ознайомитися зі схемою лабораторного стенда й підготувати табл. 8.1 для запису результатів вимірів.

Таблиця 8.1 – Результати випробувань

Показання по шкалі вторинного приладу	Об'єм води, що надходить у мірний бачок $V, \text{ м}^3$	Час заповнення мірного бачка, годин		Значення витрати, $\text{ м}^3/\text{год}$		
		Прямий хід	Зворотний хід	Прямий хід	Зворотний хід	Середнє значення

Включити вторинний прилад в електричну мережу. Відкрити спускний вентиль на мірному бачку, після чого регулювальним вентиляем установити витрату води на першу оцифровану поділку шкали вторинного приладу. Закривши зливальний вентиль, почати за секундоміром відлік часу заповнення $3 - x$ літрів мірного бачка. Результати занести в таблицю. Аналогічним чином зробити вимірювання часу заповнення водою мірного бачка в кількості $3 - x$ літрів для всіх оцифрованих поділок шкали вторинного приладу. Після цього відключити вторинний прилад від електромережі й закрити вентиль подачі води, відкрити зливальний вентиль і приступити до обробки результатів вимірів за визначенням витрат на градуйованих поділках шкали. Результати записати в табл. 8.1 і скласти звіт про роботу.

8.3. Звіт про роботу

Звіт про лабораторну роботу повинен містити:

- схему і опис ротаметричного датчика з диференційно-трансформаторною передачею показань на відстань;
- методику градуювання вторинного приладу;
- таблицю випробувань;
- графік градуювання вторинного приладу.

Контрольні запитання

1. У чому полягає сутність методу постійного перепаду тиску при вимірі величини витрати?
2. Принцип дії диференційно-трансформаторної системи передачі показань на відстань.
3. За рахунок чого в ротаметрі забезпечується постійний перепад тиску?

ЗМІСТ

Вступ	3
1. Градування термометра опору	3
1.1. Опис експериментального стенда	3
1.2. Порядок виконання роботи	5
1.3. Звіт про роботу	7
2. Перевірка градування температурної шкали електронних автоматичних приладів	7
2.1. Принцип дії приладу ДИСК-250	7
2.2. Порядок виконання роботи	10
2.3. Звіт про роботу	11
3. Вимірювання рівня диференціальним манометром із пневматичною передачею на вторинний прилад	12
3.1. Принцип дії рівнеміра	12
3.2. Опис лабораторного стенда	12
3.3. Порядок виконання роботи	14
4. Вимірювання концентрації кисню автоматичним термомагнітним аналізатором	15
4.1. Принцип дії термомагнітного газоаналізатора і його конструкція	15
4.2. Порядок виконання роботи	17
4.3. Звіт про роботу	18
5. Вимірювання температури оптичним пірометром	19
5.1. Принцип дії і конструкцію оптичного пірометра	19
5.2. Порядок виконання роботи	21
5.3. Обробка результатів вимірів	22
5.4. Звіт про роботу	23
6. Налаштування і випробування електроконтактного манометра на задані межі тиску	23
6.1. Принцип дії й конструкцію електроконтактного манометра	24
6.2. Порядок виконання роботи	25
6.3. Звіт про роботу	27
7. Вимірювання рівня поплавцевим рівнеміром з сельсинною передачею на вторинний прилад	27

7.1. Принцип дії рівнеміра.....	27
7.2. Порядок виконання роботи.....	30
8 Вимірювання витрати рідини методом постійного перепаду тиску....	32
8.1. Принцип дії й конструкцію витратоміра постійного перепаду тиску.....	32
8.2. Порядок виконання роботи.....	34
8.3. Звіт про роботу.....	34

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт з курсу «Контроль та керування хіміко-технологічними процесами» для студентів очної та заочної форм навчання факультету «Технологія неорганічних речовин»

Укладачі: ЛОБОЙКО Вячеслав Олексійович
ПУГАНОВСЬКИЙ Олег Валентинович
ДЕМЕНКОВА Світлана Дмитрівна
ВОРОЖБІЯН Роман Михайлович

Відповідальний за випуск проф. Подустов М.О.

Роботу до видання рекомендував: доц. Дудник О. В.

Редактор Н.В. Верстюк

План 2020 р., поз. 256. Підп. до друку 26.04.2021 Формат 60x84 1/16.
Папір офсетний. Гарнітура Times.
Ум. друк. арк. 5,9. Наклад 40 прим. Зам. № __. Ціна договірна.

Видавець НТУ «ХП», 61002, Харків вул. Кирпичова, 2
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 5478 від 21.08.2017 г.

Надруковано з готового оригінал-макета у друкарні ФОП В.В. Петров
Єдиний державний реєстр юридичних осіб та фізичних осіб –
підприємців.
ДК №2480000000106167 від 08.01.2009 р.
61144, м. Харків, вул. Гв. Широнінців, 79в, к. 137, тел. (057)78-17-137.
e-mail: bookfabrik@mail.ua