

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ,  
МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
„ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
ДЛЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУВАННЯ З КУРСУ «ТЕХНОЛОГІЧНІ  
ВИМІРЮВАННЯ І ПРИЛАДИ» ДЛЯ СТУДЕНТІВ НА РІВНІ  
БАКАЛАВРІВ ОЧНОЇ ТА ЗАОЧНОЇ ФОРМ НАВЧАННЯ НАПРЯМУ  
ПІДГОТОВКИ 050202 «АВТОМАТИЗАЦІЯ І КОМП’ЮТЕРНО-  
ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ»

Затвержено  
редакційно-видавничою  
радою університету,  
Протокол № 1 від 23.06.2011 р.

Харків НТУ «ХПІ» 2011

**Методичні вказівки** для курсового проектування з курсу «Технологічні вимірювання і прилади» для студентів на рівні бакалаврів очної та заочної форм навчання напряму підготовки 050202 «Автоматизація і комп'ютерно-інтегровані технології»/ Уклад.

О.І. Букатенко, В.І. Тошинський, О.В. Пугановський. – Харків: НТУ «ХПІ», 2011. – 40 с .

Укладачі: О.І. Букатенко

В. І. Тошинський

О. В. Пугановський

Рецензент М.А. Цейтлін

Кафедра автоматизації хіміко-технологічних систем та екологічного моніторингу

## **ВСТУП**

Технологічні вимірювання є невід'ємною частиною сучасних виробничих процесів. Ускладнення та інтенсифікація виробництва пред'являють підвищені вимоги до методів і засобів вимірювання. Не зважаючи на постійне удосконалення приладної бази приладів, методи вимірювання майже не змінюються. У 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 розрахунків вимірювальних приладів, набуття практичних навичок з вибору і розрахунку засобів вимірювання а також закріплення теоретичних знань по курсу «Технологічні вимірювання і прилади».

У методичних вказівках наведена структура курсового проекту; приклади опису окремих технічних засобів, формули для розрахунку конструктивних елементів схеми, приклади розрахунків, перелік питань для самоконтролю.

## **1 СТРУКТУРА КУРСОВОГО ПРОЕКТУ**

Курсовий проект складається із пояснювальної записки і двох креслень, що оформлені згідно вимог [6].

Пояснювальна записка повинна містити наступні розділи:

- 1) титульний аркуш;
- 2) аркуш завдання;
- 3) реферат на трьох мовах (українська, російська, англійська), на окремих сторінках;
- 4) зміст пояснювальної записки;
- 5) вступ;
- 6) аналітичний огляд методів вимірювання заданого параметру;
- 7) теоретичні основи і методи розрахунку обраного засобу вимірювання;
- 8) розрахунок датчику, вимірювальної схеми або приладу;
- 9) рекомендації відносно монтажу, комплектації або умов експлуатації

приладів;

10) висновки;

11) перелік використаних джерел інформації.

Приклад оформлення реферату українською мовою наведено у додатку 1. У вступній частині вказують загальні відомості про засоби вимірювання, розповсюдженість тих чи інших методів вимірювання, мету виконання курсового проекту.

Аналітичний огляд повинен містити узагальнені відомості про всі методи і засоби вимірювання заданого параметру. Особливу увагу приділяють сучасним напрямкам у галузі вимірювальної техніки. Пояснення необхідно супроводжувати відповідними рисунками і формулами. Об'єм розділу 10 – 15 сторінок.

У теоретичній частині ґрунтовно описують фізичні основи заданого методу вимірювання або принципу роботи приладу і способи їх розрахунків. Об'єм розділу 4 – 7 сторінок.

Розрахункова частина містить вихідні умови та розрахунок конструкції приладу. Усі розрахунки супроводжують поясненнями з посиланнями на розрахункові формули або довідкові дані. Об'єм розділу 4 – 10 сторінок.

Розділ рекомендацій по монтажу, комплектації або умов експлуатації приладів повинен містити довідкову інформацію для правильного використання розрахованого засобу вимірювання. Об'єм розділу 2 – 5 сторінок.

Висновки містять узагальнену інформацію про виконаний курсового проекту. В них описують методи і засоби вимірювання, що існують. Обраний метод вимірювання і обрану методику розрахунку. Отримані в результаті розрахунків конструктивні параметри і умови застосування приладів.

У переліку джерел інформації надають список літературних, електронних або інтернет-джерел, що були використані для виконання курсового проекту і підготовки до його захисту.

Пояснювальна записка виконується рукописним або машинним способом на аркуші формату А4 висотою букв або цифр не менше 2,5 мм. При виконанні проекту на комп'ютері – шрифт Times New Roman 14 міжстроковий інтервал 1,5. Обсяг розрахунково–пояснювальної записки становить 25–40 сторінок.

При розміщенні тексту на сторінках необхідно залишити поля: ліворуч

– не менше 25 мм, праворуч – не менше 10 мм, зверху й знизу – не менше 20 мм. Сторінки пояснювальної записки нумерують у правому верхньому куті арабськими цифрами без крапки наприкінці.

Заголовки розділів пояснювальної записки необхідно розташовувати по центру і писати великими літерами нежирним шрифтом без крапки наприкінці. Заголовки підрозділів, пунктів і підпунктів починають із абзацу і пишуть прописними літерами напівжирним шрифтом з першої великої літери, без крапки наприкінці. Номери розділів і підрозділів позначають арабськими цифрами, нежирним шрифтом. Між заголовком розділу і текстом залишають порожній рядок а назву підрозділу від тексту не відривають.

Між графічними елементами, формулами, таблицями і текстом залишають порожній рядок. Також ці елементи центрують на сторінці. При розрахунках спочатку пишуть формулу а потім з нового рядка записують вираз із підставленими числовими значеннями і результатом розрахунку.

Графічна частина курсового проекту складається з двох креслень. На першому розміщують габаритно-монтажні креслення датчиків і вторинних приладів. На другому розміщують електронні або блокові схеми приладів і схеми з'єднання вимірювального комплекту. Приклади таких креслень наведено у додатках 2 і 3.

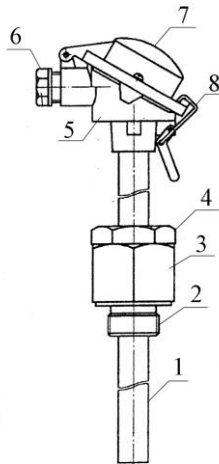
Креслення виконують на аркушах формату А1 з рамкою і штампом, відповідно до існуючих вимог. Габаритно-монтажні креслення виконують в масштабі а схеми та блок-схеми у довільному розмірі. Креслення виконують вручну або в електронному вигляді і роздруковують на плотері.

## **2 ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ**

### **2.1 Загальні відомості**

При розробці локальних вимірювальних комплектів для виміру температури найчастіше як датчики використовуються термперетворювачі опору (ТО) і термоелектричні перетворювачі (ТП), які ще називають термоопорами і термопарами. А як вторинні прилади – прилади типу РП160 і ДИСК–250.

Зовнішній вигляд хромель–алюмелевої (ТХА) і хромель–копелевої (ТХК) термопар наведено на рис. 1.1



1 – захисна гільза; 2 – різьблення для вгвинчування в апарат; 3,4 – штуцер з гайками; 5 – корпус голівки; 6 – штуцер для кріплення дротів; 7 – кришка голівки; 8 – важільна система для відкриття кришки голівки.

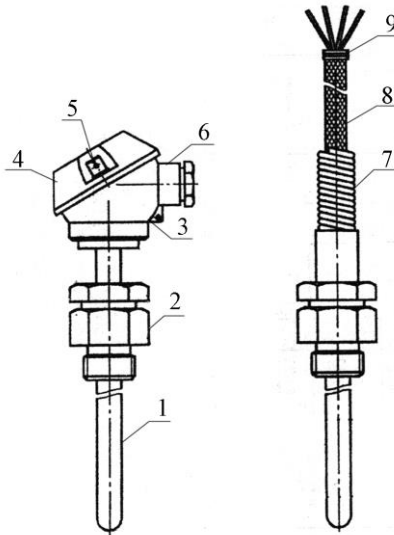
Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд термоелектричного термометра типу ТХА/ТХК

Конструкцію і принцип дії термометра з металевим термоперетворювачем опору можна знайти на сторінці 180 [1]. Конструкцію і принцип дії термоелектричного термометра можна знайти на сторінці 165 [1] або на сторінці 269 [2].

Зовнішній вигляд термометра опору типу ТСП і ТСМ, представлено на рис. 1.2.

Як видно з рис. 1.1. і 1.2 термопарі й термометри опору на своїх корпусах мають по дві гайки. Вони призначені для того, щоб при їхньому монтажі на технологічному об'єкті не було необхідності обертання цих засобів автоматизації навколо власних осей.

Термопарі і термометри опору перерахованих вище конструкцій у голівках можуть мати вбудовані електронні перетворювачі. Ці перетворювачі перетворюють вимірювану температуру в уніфікований струмовий вихідний сигнал, що дає можливість побудови систем АСУ ТП без застосування додаткових нормуючих перетворювачів. У такому випадку в модифікації термопар і термометрів опору додається буква «У» (ТХАУ, ТХКУ, ТСПУ, ТСМУ).



1 – захисний чохол; 2 – штуцер для кріплення ; 3 – корпус голівки; 4 – сполучна голівка; 5 – гвинт для кріплення голівки; 6 – штуцер для дротів; 7 – чуттєвий елемент; 8 – каркас; 9 – затискач вивідних дротів

Рисунок 1.2 – Конструкція термометра з металевим термоперетворювачем опору серії Метран-200Т

Для зниження похибки за рахунок зміни температури з'єднувальних дротів, термометри опору при вимірюванні температури включаються у вимірювальні схеми по 3-х або 4-х провідних схемах.

Однак для підвищення точності виміру температури, велике значення має й величина струму, що протікає по термоперетворювачі опору.

## 2.2 Розрахунок оптимальної сили струму, що протікає через термоперетворювач опору

Щоб похибка вимірювання температури, за рахунок самонагрівання термоперетворювача опору, не перевищувала припустимих значень, роблять розрахунок оптимальної сили струму, що повинна протікати через термометр опору.

Для розрахунку значення сили струму повинні бути задані наступні вихідні дані: довжина, діаметр і матеріал нитки, з якої намотаний термоперетворювач опору; коефіцієнт тепловіддачі від термоперетворювача опору до навколишнього його середовища; опір термометра при його робочій

температурі; величина припустимого значення додаткової похибки за рахунок самонагрівання термометра опору.

В основу розрахунку додаткової похибки при вимірі температури за рахунок самонагрівання чутливого елемента покладеної умови рівноваги теплового балансу.

Кількість теплоти, що виділяється термоперетворювачем опору при проходженні через нього струму  $i$  в одиницю часу визначається залежністю:

$$Q = i^2 \cdot R_t, \quad (2.1)$$

де  $Q$  – кількість теплоти, що виділяється, Вт;

$i$  – величина струму, А;

$R_t$  – опір термоперетворювача, Ом.

Кількість теплоти, що віддається термоперетворювачем опору у вимірюване середовище, відповідно до рівняння теплообміну складе:

$$Q = \alpha_k \cdot F(t_n - t_n), \quad (2.2)$$

де  $\alpha_k$  – коефіцієнт тепловіддачі від термометра опору до вимірювального середовища, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$F$  – поверхня термометра опору, м<sup>2</sup>, що дорівнює  $F = \pi \cdot d \cdot \ell$ ,

де  $d$  – діаметр нитки термометра опору, м;

$\ell$  – його довжина, м;

$t_n$  – температура нитки термометра опору, °С;

$t_n$  – температура вимірюваного середовища, °С.

З умови теплового балансу необхідний температурний напір виражено залежністю:

$$\Delta t = t_n - t_n = Q / (\alpha_k F) \quad (2.3)$$

### **2.3 Приклад розрахунку оптимальної сили струму, що протікає через термоперетворювач опору**

Завдання: розрахувати оптимальну силу струму, що протікає через термоперетворювач опору, який виконаю з платинової нитки діаметром 0,03 мм і довжиною 10 мм, що вимірює температуру повітряного потоку. Додаткова погрішність виміру температури за рахунок самонагрівання чуттєвого елемента не повинна перевищувати 0,1 °С. Коефіцієнт тепловіддачі від чуттєвого елемента до повітря  $\alpha_k = 100$  Вт/(м<sup>2</sup>·К), опір термометра при робочій температурі  $R_t = 1,04$  Ом.

Розв'язання.

З міркувань зниження похибки за рахунок самонагрівання датчика



струмом живлення, величина минаючого через нього струму  $I$  коливається в різних вторинних вимірювальних приладах у межах від 2 до 8 мА.

Приймаємо силу струму  $I$  рівну 4 мА. Тоді кількість теплоти, що виділяється на термометрі опору при проходженні струму  $I$  в одиницю часу, згідно (2.1), складе:

$$Q = 0,004^2 \cdot 1,04 = 1,66 \times 10^{-5} \text{ Дж}.$$

Величина додаткової похибки за рахунок самонагрівання термометра опору дорівнює:

$$\Delta t = \frac{Q}{\alpha_k \cdot C_{\text{т}} \cdot m},$$

$$\Delta t = \frac{1,6610^{-5}}{100 \cdot 0,14 \cdot 10^{-5} \cdot 10 \cdot 10^{-3}} = 0,176 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Отримана величина  $\Delta t$  більше припустимої. Тому необхідно ввести додатковий опір обмеження струму живлення у вимірювальній схемі до 2 мА. Тоді кількість теплоти, що виділяється на термометрі опору, складе:

$$Q = 0,002^2 \cdot 1,04 = 4,1 \cdot 10^{-6} \text{ Вт}.$$

А величина додаткової похибки термометра опору буде дорівнювати:

$$\Delta t = \frac{Q}{\alpha_k \cdot C_{\text{т}} \cdot m},$$

$$\Delta t = \frac{4,1 \cdot 10^{-6}}{100 \cdot 0,14 \cdot 10^{-5} \cdot 10 \cdot 10^{-3}} = 0,044 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Так як  $0,044 \text{ }^\circ\text{C} < 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ , приймаємо силу струму живлення вимірювальної схеми, рівну 2 мА.

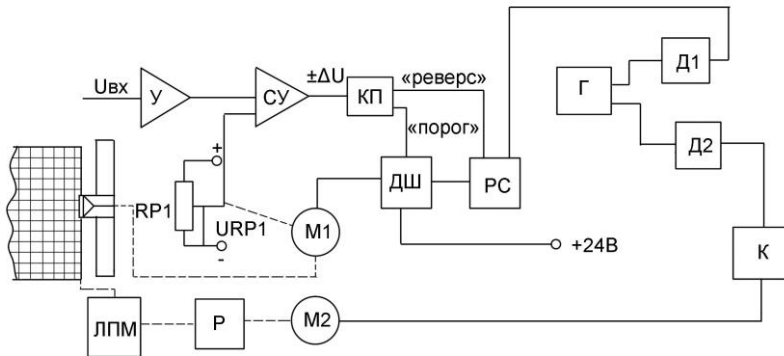
#### **2.4 Конструкція, принцип дії та схема підключення приладу РП160**

Ці прилади розраховані на роботу з термоперетворювачами опору, перетворювачами термоелектричними (термопарами), джерелами вихідних сигналів постійного струму.

Прилади призначені для вимірювання і реєстрації напруги постійного струму, а також неелектричних величин, перетворених в електричні сигнали і напруги постійного струму або в активний опір. Функціональна електрична схема приладу наведена на рис. 2.1.

Принцип дії приладу заснований на порівнянні двох сигналів напруги постійного струму: вихідного сигналу первинного перетворювача  $U_{вх}$  і сигналу зворотного зв'язку  $U_{RP1}$ , що знімається з рухливого контакту реохорда RP1.

Після порівняння компаратор КП формує два сигнали: сигнал знака  $\Delta U(\pm \Delta U)$ , що визначає напрямок обертання ротора виконавчого елемента системи, що стежить, М1 («реверс»), і сигнал, що забезпечує підключення напруги +24В до обмоток статора М1 («поріг»).



У – вхідний підсилювач; СУ – підсумовуючий підсилювач; RP1 – реохорд; КП – компаратор; ДШ – дешифратор; ДО – комутатор; РС – реверсивний лічильник; Г – генератор прямокутних імпульсів; Д1, Д2 – дільники частоти; М1 – виконавчий елемент системи, що стежить; М2 – виконавчий елемент стрічкопротягувального механізму; Р – редуктор; ЛПМ – стрічкопротягувальний механізм

Рисунок 2.1 – Електрична функціональна схема вторинного приладу RP160

Порядок комутації цієї напруги на обмотках статора М1 залежно від значення  $\Delta U$ , знака  $\Delta U$  і заданої швидкодії приладу визначається реверсивним лічильником РС, що управляється прямокутними імпульсами від генератора Г через дільники частоти Д1 і дешифратором ДШ.

Сигнал первинного перетворювача  $U_{вх}$  із виходу підсилювача У надходить на підсумовуючий підсилювач СУ, куди подається сигнал зворотного зв'язку  $U_{RP1}$ . Посилений сигнал різниці  $\pm U$  з виходу підсумовуючого підсилювача СУ надходить на компаратор КП. Якщо  $\Delta U$  більше порогового значення, то на виході компаратора з'явиться сигнал

включення електродвигуна «порог». Знак  $\Delta U$  визначає чи з'явиться на виході компаратора сигнал «реверс» При  $\Delta U \neq 0$  ротор М1 почне обертатися в ту або іншу сторону, залежно від знака  $\Delta U$ . Ротор М1, кінематично пов'язаний з рухливим контактом реохорда РР1, буде обертатися доти, поки  $\Delta U$  не стане рівною нулю. У момент рівноваги ( $\Delta U = 0$ ) система зупиниться і положення покажчика на шкалі приладу відповідатиме значенню вимірюваного параметра.

Частота комутації напруги +24 В, що подається на обмотки статора виконавчого елемента М2 (швидкість переміщення діаграмної стрічки на стрічкопротягувальному механізмі ЛПМ), задається генератором прямокутних імпульсів Г і дільниками частоти Д2, порядок комутації напруги на обмотках М2 визначається комутатором К. За допомогою перемикача частота може змінюватись від кількох кроків на хвилину до кількох сотень кроків.

Виконавчі елементи системи стеження М1 і стрічкопротягувального механізму М2 побудовані на крокових двигунах.

Прилад обладнаний пристроєм для дистанційного керування швидкістю переміщення діаграмної стрічки.

Зовнішній вигляд приладу типу РП160 наведено на рис. 2.2.

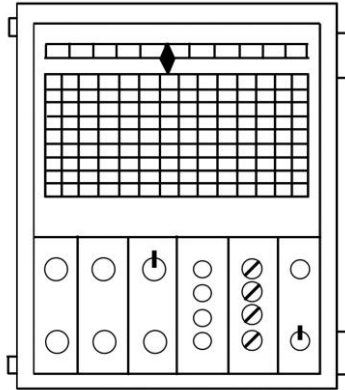


Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд приладу РП160

На передній стороні шасі приладу розташовані шкала і реєструючий пристрій, що складається з каретки й діаграмного паперу. У нижній частині приладу розташовані шість модулів, які виконано у вигляді печатних плат.

На передньому модулі першої (ліворуч) друкованої плати розташовані резистори установки початкового і кінцевого значень вимірюваного параметра. На другому модулі – кнопки «завдання параметра» і «контроль

справності». На третьому – перемикач швидкостей переміщення діаграмної стрічки і кнопка керування стрічкопротягувальним механізмом. На четвертому – чотири світлодіода для сигналізації вимірюваного параметра: «мало», «дуже мало», «багато» й «дуже багато».

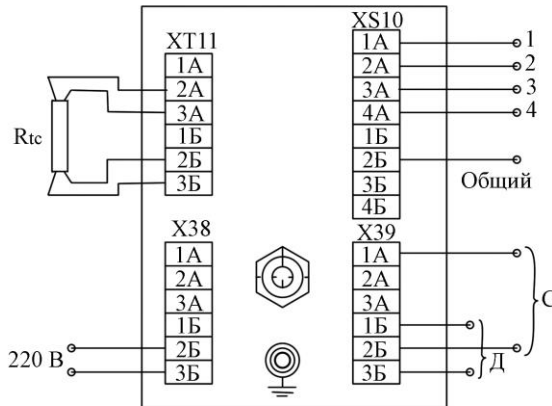
Розташування колодок на задній стінці приладу і схема його підключення для виміру опору датчика показано на рис. 2.3.

На п'ятому модулі – резистори установки меж сигналізації вимірюваного параметра. На шостому – світлодіод «Мережа» і тумблер «Мережа».

Термоперетворювач опору підключений до приладу по 4-х провідній схемі. Таке з'єднання не вимагає підготовки лінії зв'язку.

У тому випадку, якщо місце розташування приладу перебуває в приміщенні, що містить корозійно-активні елементи (сірчистий газ, хлориди), до штуцера в корпусі приладу підключається повітря з надлишковим тиском  $0,02 \cdot 10^5$  Па. Повітря, яке подається, не повинно містити мастил.

Схеми підключення інших первинних перетворювачів до роз'єму XT11 наведені на рис. 2.4.



1 – сигнал сигналізації «дуже мало»; 2 – сигнал «мало»; 3 – сигнал «багато»; 4 – сигнал «дуже багато»; 3 – дистанційне керування швидкостями переміщення діаграмної стрічки 20, 40, 60, 120, 240, 600, 1200 мм/ч; Д – те ж, для швидкості 2400 мм/ч;  $R_{tc}$  – термометр опору

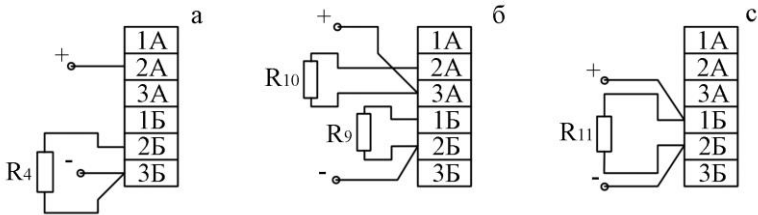
Рисунок 2.3 – Схема електричних підключень приладу РР160

При підключенні термоелектричних перетворювачів типу ТХК, ТХА, ТПП використовується котушка з мідного дроту  $R_4$ . Вона призначена для

компенсації термо-ЕРС вільних кінців термоперетворювача.

При підключенні первинних перетворювачів з уніфікованими струмовими вихідними сигналами 0–5, 0–20, 4–20 мА використовується резистор R11, що призначений для перетворення вхідного сигналу у сигнал напруги.

При підключенні до приладу датчиків з уніфікованим вихідним сигналом напруги 0–10 В використовуються резистори R9 і R10, які утворюють дільник сигналу.



а – схема для виміру термо-ЕРС; б – схема для виміру напруги постійного струму; с – схема для виміру постійного струму

Рисунок 2.4 – Підключення датчиків до приладу РП160

## 2.5 Конструктивний розрахунок реохорда приладу РП160

Реохорд даного приладу являє собою прямолінійну шину, на яку намотана обмотка з манганінового дроту або зі сплаву Плв–20. Діаметр шини приладів РП160 всіх модифікацій становить від 5 до 7 мм, а довжина реохорда 160 мм. Опір реохорда 950 Ом.

Приклад розрахунку.

Виконати конструктивний розрахунок реохорда вторинного приладу РП160, що має довжину 160 мм. Матеріал нитки реохорда – манганіновий дріт з товщиною ізоляції 0,005 мм. Опір реохорда становить 950 Ом, припустиме відхилення розрахункового значення опору реохорда не повинно перевищувати 0,5 %.

По таблиці 2.1 вибирають орієнтовний діаметр манганінового дроту і його питомий опір.

Приймаємо діаметр манганінового дроту 0,12 мм, питомий опір якого становить 42,6 Ом/м або 0,0426 Ом/мм.

Тоді необхідна розрахункова довжина намотувального дроту становить:

$$L = \frac{R_p}{r} ,$$

де  $R_p$  – опір реохорда, Ом;

$r$  – питомий опір манганінового проведення, Ом/мм.

Таблиця 2.1 – Залежність питомого опору манганінового дроту від його діаметра.

Діаметр дроту, мм	0,05	0,07	0,08	0,10	0,15	0,20	0,25
Питомий опір, Ом/м	220	112	85,4	54,8	24,3	13,7	8,76

$$L = \frac{950}{0,0426} = 22300,5 \text{ м}$$

Число витків реохорда складе:

$$n = \frac{l}{d + 2h_{\text{из}}}$$

де  $l$  – довжина реохорда, яка дорівнює 160 мм;

$d$  – діаметр дроту, мм;

$h_{\text{из}}$  – товщина шару ізоляції манганінового дроту, мм.

$$n = \frac{160}{0,12 + 2 \cdot 0,005} = 1230$$

Діаметр шини реохорда, на яку намотується дріт:

$$D = \frac{L}{p \cdot n}$$

$$D = \frac{22300,5}{3,14 \cdot 1230} = 5,8 \text{ м}$$

Діаметр реохорда з намотуванням:

$$D_p = D + 2 \cdot (d + 2h_{\text{из}})$$

$$D_p = 5,8 + 2 \cdot (0,12 + 2 \cdot 0,005) = 6,06 \text{ м}$$

Реальна довжина дроту намотування:

$$L_1 = p \cdot \pi \cdot D \cdot n ,$$

$$L_1 = 3,14 \cdot 5,8 \cdot 230 = 22400,76 \text{ мм} .$$

Різниця розрахункової й реальної довжин дроту намотування:

$$\Delta L = L_1 - L ,$$

$$\Delta L = 22400,76 - 22300,5 = 100,26 \text{ мм} .$$

Збільшення довжини ніхромової нитки на 100,26 мм приведе до збільшення опору реохорда на:

$$\Delta R_p = \Delta L \cdot r ,$$

$$\Delta R_p = 100,26 \cdot 0,00426 = 4,27 \text{ Ом} \approx 0,45 \% .$$

Так, як  $0,45 < 0,5$  то розрахунок по точності опору реохорда прийнятий. Довжина одного витка дроту реохорда:

$$l_{\hat{a}} = p \cdot D ,$$

$$l_{\hat{a}} = 3,14 \cdot 5,8 = 18,21 \text{ мм} .$$

Перевіримо, чи призведе збільшення реальної довжини реохорда на 100,2 мм до збільшення числа витків реохорда, кількість яких складе:

$$n = \frac{L_1}{l_{\hat{a}}} ,$$

$$n = \frac{22400,76}{18,21} = 1230 \text{ витків} .$$

Через те, що число витків залишилося колишнім, і довжина реохорда залишиться колишньою і складе 160 мм, що і визначається конструктивною особливістю приладу, який має прямокутну шкалу.

Питоме число витків намотувального дроту, тобто число витків, що припадають на 1% шкали приладу, визначиться:

$$n_{\text{о}ä} = \frac{n}{100} ,$$

$$n_{\text{бã}} = \frac{1230}{100} = 12,3 \text{ àëðè³ã.}$$

Якщо відношення розрахункового значення опору реохорда склало більше припустимого або довжина реохорда вийшла за межі 160 мм, то необхідно змінити орієнтовно обраний діаметр манганінового дроту й розрахунок реохорда повторити знову.

## **2.6 Конструкція, принцип дії і схема підключення приладу**

### **Диск–250**

Прилади даного типу призначені для виміру 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. Зовнішній вигляд приладу наведений на сторінці 17 літератури [3] і на сторінці 380 літератури [4], а принципова схема наведена на рис. 2.5.

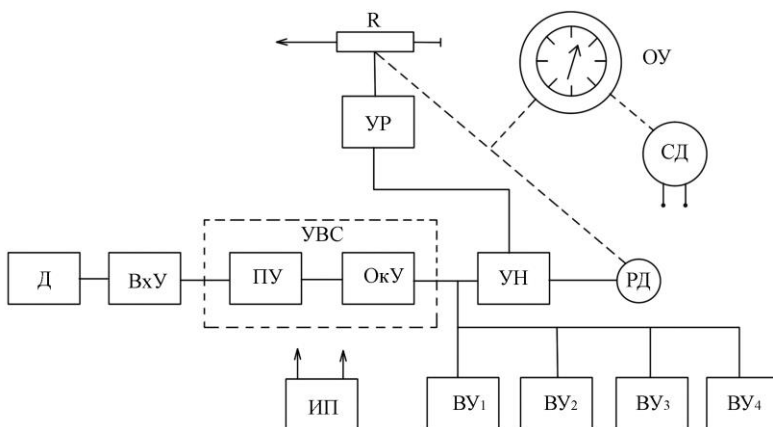
В основу роботи приладу покладений принцип електромеханічного стежачого зрівноважування. Вхідний сигнал від датчика попередньо підсилюється і лише після цього відбувається зрівноважування його сигналом компенсуючого елемента (реохорда).

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-е.д.с. холодних спайів 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.





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; ВУ<sub>1</sub>–ВУ<sub>4</sub> – вихідний пристрій; ИП – джерело живлення

Рисунок 2.5 – Принципова схема приладу Диск–250

Сигнал з реохорда Р, 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, що підсилюється цим підсилювачем та керує роботою реверсивного двигуна РД, що, у свою чергу, переміщує двигун реохорда Р доти, доки сигнал з підсилювача УР не стане рівний (по абсолютному значенню) 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 переміщується синхронним двигуном СД.

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

Сигнал з підсилювача УВС надходить на входи підсилювачів вихідних пристроїв ВУ<sub>1</sub>–ВУ<sub>4</sub>:

ВУ<sub>1</sub> – пристрій перетворення вхідного сигналу у вихідний електричний уніфікований сигнал 0–5 або 4–20 мА;

ВУ<sub>2</sub> – трипозиційний регулюючий пристрій;

ВУ<sub>3</sub> – пристрій сигналізації про вихід вимірюваного параметра за

нижню припустиму межу;

ВУ<sub>4</sub> – пристрій сигналізації про вихід вимірюваного параметра за верхню припустиму межу.

Живлення всіх функціональних вузлів приладу здійснюється від джерела стабілізованої напруги ИП. Схему підключення приладу Диск–250 можна знайти на сторінці 17 літератури [3] або на сторінці 380 літератури [4]. Методика й приклад розрахунку конструктивних елементів реохорда для приладів з дисковою діаграмою наведена на сторінці 125 літератури [5].

### **Запитання для самоконтролю**

1. Класифікація засобів вимірювання температури.
2. Температурні шкали.
3. Принцип дії термоперетворювача опору, конструкція та матеріали.
4. Мостові вимірювальні схеми, особливості застосування.
5. Промислові прилади для роботи з термоопорами.
6. Методика розрахунку компенсаційної схеми промислових приладів.

## **3 ВИМІРЮВАННЯ РІВНЯ**

### **3.1 Конструкція, принцип дії та схема підключення ємнісного рівнеміра**

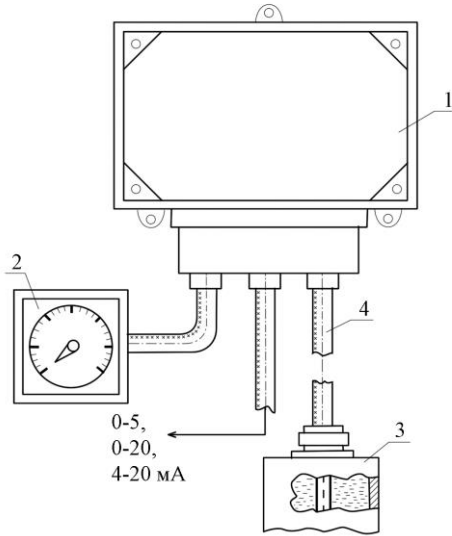
Для виміру рівня рідини й сипучих матеріалів велике поширення одержали ємнісні рівнеміри завдяки їхній високій чутливості, малим габаритам і масі, простою технологією виготовлення.

Принцип дії ємнісного рівнеміра заснований на зміні ємності конденсатора зі зміною рівня вимірюваного середовища. Зовнішній вигляд такого рівнеміра наведений на рис. 3.1, а його принципова схема – на рис. 3.2.

Чутливий елемент ємнісного перетворювача виготовляють у вигляді двох паралельних пластин або у вигляді коаксіально розміщених циліндрів. Останній, складається із циліндричного електрода 1, жорстко з'єданого через ізоляційне кільце 2 з порожнім металевим циліндром 3. Електрод має ізоляційне покриття. Для з'єднання перетворювача з ємністю, у якій виміряється рівень, нижнє й верхнє ізоляційні кільця мають отвори.

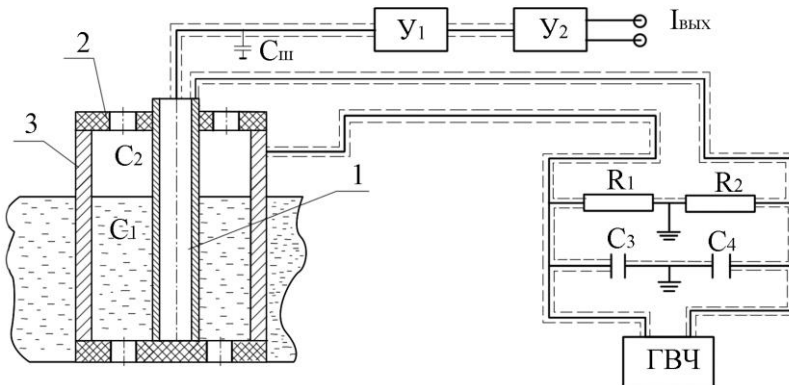
Для збільшення чутливості перетворювач включений у мостову вимірювальну схему змінного струму з використанням високочутливого підсилювача У<sub>1</sub>. Для забезпечення необхідної потужності вихідного сигналу, живлення вимірювальної схеми здійснюється від генератора високої частоти ГВЧ.

Схема підключення ємнісного рівнеміра наведена на рис. 3.3.



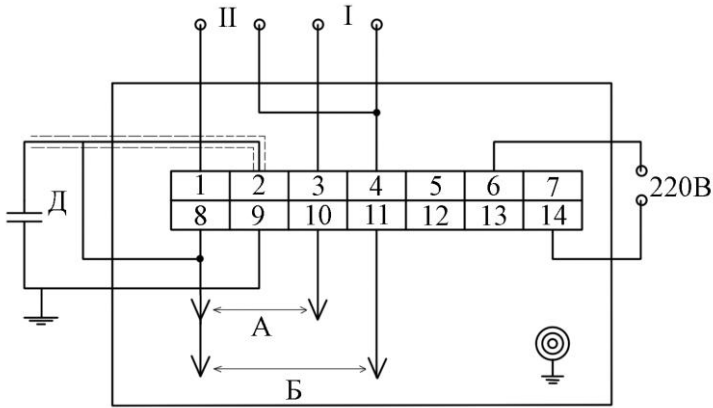
1 – електронний блок; 2 – показуючий прилад по місцю; 3 – ємнісний датчик;  
4 – радіочастотний кабель

Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд ємнісного рівнеміра



1 – циліндричний електрод; 2 – ізоляційне кільце; 3 – порожній циліндр;  
 $У_1$ – $У_2$  – підсилювачі; ГВЧ – генератор високої частоти

Рисунок 3.2 – Принципова схема приладу ємнісного рівнеміра



Д – датчик; I – вихідний сигнал 100 мВ; II – вихідний уніфікований струмовий сигнал; А – індикаторний сигнал верхнього рівня; Б – індикаторний сигнал нижнього рівня

Рисунок 3.3 – схема підключення ємнісного рівнеміра

Індикаторна (вимірювальна) діагональ мостової схеми зашунтована ємністю  $C_{III}$ , а ємності  $C_3$  і  $C_4$  – опорами  $R_1$  й  $R_2$  для зменшення впливу паразитних ємностей у схемі. Щоб усунути вплив наведень, всі елементи вимірювального ланцюга з'єднані екранованими дротами, коаксіальним або радіочастотним кабелем.

З виходу підсилювача  $У_1$  посилений до 100 мВ сигнал напруги надходить на показуючий прилад 2 (рис. 3.1), встановлений по місцю. Цей же сигнал надходить і на вхід підсилювача – формувача уніфікованого вихідного сигналу  $У_2$ , що перетворить цей сигнал напруги в струмовий вихідний уніфікований сигнал 0–5, 0–20 або 4–20 мА.

### 3.2 Методика розрахунку ємнісного рівнеміра

Для розрахунку ємнісного рівнеміра повинні бути задані наступні вихідні дані: вимірюване середовище; діаметр зовнішнього електрода; діаметр внутрішнього електрода (якщо він має ізоляційне покриття, то має бути зазначена товщина цього покриття); довжина перетворювача і ємність його конструктивних елементів.

Сумарна ємність циліндричного конденсатора, представленого на рис. 3.2, являє собою три паралельно з'єднаних конденсатори:

$$C = C_0 + C_1 + C_2, \quad (3.1)$$

де  $C_0$  – ємність конструктивних елементів, пФ;

$C_1$  – ємність, утворена частиною електродів і рідиною або сипучим матеріалом, рівень яких вимірюється, пФ;

$C_2$  – ємність іншої частини електродів і повітря або парами рідини, рівень якої вимірюється.

Ємності  $C_1$  і  $C_2$  у розглянутій схемі також неоднорідні і являють собою послідовне з'єднання ємностей:

$$C_1 = \frac{C_3 \Psi C_4}{C_3 + C_4},$$

$$C_2 = \frac{C_5 \Psi C_6}{C_5 + C_6},$$

де  $C_3$  і  $C_5$  – ємності між циліндром і зовнішньою поверхнею ізоляції тросика, що перебувають відповідно в рідині, парах цієї рідини або в повітрі (якщо над поверхнею виміру пари відсутні), пФ;

$C_4$  і  $C_6$  – ємності між ізоляцією тросика і самим тросиком, пФ.

Відомо, що ємність одиниці довжини циліндричного перетворювача розраховується за рівнянням:

$$C = \frac{2\psi \Psi \Psi L}{\ln(D_1 / D_2)}, \quad (3.2)$$

де  $\epsilon$  – відносна діелектрична проникність речовини, що заповнює перетворювач (безрозмірна величина, рівна відношенню діелектричної проникності в речовині до діелектричної проникності у вакуумі);

$L$  – довжина перетворювача, м;

$D_1/D_2$  – відношення діаметрів зовнішнього електрода до внутрішнього.

З урахуванням виразу 3.2:

$$C_3 = \frac{2\psi \Psi_1 \Psi H}{\ln \frac{D}{S + 2B}}, \quad C_4 = \frac{2\psi \Psi_2 \Psi H}{\ln \frac{S + 2B}{S}},$$

$$C_5 = \frac{2\psi \Psi_3 \Psi (L - H)}{\ln \frac{D}{S + 2B}}, \quad C_6 = \frac{2\psi \Psi_2 \Psi (L - H)}{\ln \frac{S + 2B}{S}},$$

де  $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$  – відносні діелектричні проникності відповідно: матеріалу, рівень якого вимірюється; ізоляційного покриття тросика; парів вимірюваної речовини або повітря якщо парів немає;

$H$  – рівень вимірюваної речовини, м;

$D, S$  – діаметри електродів відповідно порожнього циліндра і тросика;

$B$  – товщина шару ізоляції тросика, м.

З урахуванням викладеного вище:

$$C_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_1 \cdot \epsilon_2 \cdot H}{\epsilon_1 \cdot \ln \frac{S+2B}{S} + \epsilon_2 \cdot \ln \frac{D}{S+2B}},$$

$$C_2 = \frac{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_3 \cdot \epsilon_2 \cdot (L-H)}{\epsilon_3 \cdot \ln \frac{S+2B}{S} + \epsilon_2 \cdot \ln \frac{D}{S+2B}}.$$

Конструктивні особливості, які характеризують перетворювач замінюють постійними коефіцієнтами:

$$k_1 = 2\varphi \epsilon_1 \epsilon_2; \quad k_2 = \epsilon_1 \ln \frac{S+2B}{S};$$

$$k_3 = \epsilon_2 \ln \frac{D}{S+2B}; \quad k_4 = 2\varphi \epsilon_3 \epsilon_2;$$

$$k_5 = \epsilon_3 \ln \frac{S+2B}{S}.$$

Тоді загальне рівняння для перетворювача, що проектується спроститься і отримає вигляд:

$$C = C_0 + \frac{k_1 \varphi H}{k_2 + k_3} + \frac{k_4 \varphi (L-H)}{k_5 + k_3}. \quad (3.3)$$

### 3.3 Приклад розрахунку ємнісного перетворювача

Розрахувати ємнісний перетворювач для виміру рівня тетраклориду вуглецю. Перетворювач складається з порожнього металевого циліндра діаметром 60 мм, усередині якого коаксіально розташований металевий тросик діаметром 1.5 мм, покритий шаром ізоляції товщиною 1 мм. Довжина перетворювача 2 м, ємність конструктивних елементів 75 пФ.

Визначити коефіцієнт перетворення і побудувати графічну залежність зміни ємності перетворювача від рівня тетрахлориду вуглецю в ємності.

Відносна діелектрична проникність тетрахлориду вуглецю  $\epsilon_1 = 2,1$ ; ізоляційного покриття тросика  $\epsilon_2=4,2$  а пари тетрахлориду вуглецю  $\epsilon_3 = 1$  визначена по таблиці 3.1.

Тоді постійні коефіцієнти, що характеризують конструктивні особливості даного перетворювача складуть:

$$k_1 = 2\psi \epsilon_1 \epsilon_2$$

$$k_1 = 2 \cdot 1,14 \cdot 2,1 \cdot 4,2 = 55,39 ,$$

$$k_2 = \epsilon_1 \operatorname{Chn} \frac{S + 2B}{S} ,$$

$$k_2 = 2,1 \operatorname{Chn} \frac{0,0015 + 2 \cdot 0,001}{0,0015} = 1,78 ,$$

$$k_3 = \epsilon_2 \operatorname{Chn} \frac{D}{S + 2B} ,$$

$$k_3 = 4,2 \operatorname{Chn} \frac{0,06}{0,0015 + 2 \cdot 0,001} = 17,93 ,$$

$$k_4 = 2\psi \epsilon_3 \epsilon_2 ,$$

$$k_4 = 2 \cdot 1,14 \cdot 1 \cdot 4,2 = 26,38 ,$$

$$k_5 = \epsilon_3 \operatorname{Chn} \frac{S + 2B}{S} ,$$

$$k_5 = 1 \operatorname{Chn} \frac{0,0015 + 2 \cdot 0,001}{0,0015} = 0,85 .$$

Обчислюємо залежність зміни ємності перетворювача від рівня чотирихлористого вуглецю в ємності. Для цього розділимо довжину перетворювача на 4 рівні ділення (можна й більше)  $\Delta H=2/4=0,5$  м і обчислимо сумарну ємність конденсатора за формулою 3.3 через кожну зміну рівня на 0,5 м.

$$C_{01} = 75 + \frac{55,39 \cdot 0}{1,78 + 17,93} + \frac{26,38 \cdot (2 - 0)}{0,85 + 17,93} = 77,81 \text{ і } \hat{O};$$

$$C_{\text{O}2} = 75 + \frac{55,39 \cdot 0,5}{1,78 + 17,93} + \frac{26,38 \cdot (2 - 0,5)}{0,85 + 17,93} = 78,51 \text{ i } \hat{\text{O}} ,$$

$$C_{\text{O}3} = 75 + \frac{55,39 \cdot 1}{1,78 + 17,93} + \frac{26,38 \cdot (2 - 1)}{0,85 + 17,93} = 79,21 \text{ i } \hat{\text{O}} ,$$

$$C_{\text{O}4} = 75 + \frac{55,39 \cdot 1,5}{1,78 + 17,93} + \frac{26,38 \cdot (2 - 1,5)}{0,85 + 17,93} = 79,92 \text{ i } \hat{\text{O}} ,$$

$$C_{\text{O}5} = 75 + \frac{55,39 \cdot 2}{1,78 + 17,93} + \frac{26,38 \cdot (2 - 2)}{0,85 + 17,93} = 80,62 \text{ i } \hat{\text{O}} .$$

Таблиця 3.1 – Відносна діелектрична проникність речовин при 20 °С

Речовина	$\epsilon$
Повітря	1,0
Пари рідин і гази	$\approx 1,0$
Вода	81,0
Хлороформ	4,8
Тетрахлорид вуглецю	2,1
Етиловий спирт	25,0
Ацетон	21,4
Етиловий ефір	4,4
Бензол	2,3
Хлорбензол	36,0
Ізоляційне покриття	4,2
Сухий пісок	4,3
Сіль хлористого натрію	6,3
Харчова сода (порошок двовуглекислого натрію)	4,5

За даними розрахунку залежності будемо статичну характеристику ємнісного перетворювача  $C=f(H)$ , надану на рис 3.4.

Коефіцієнти перетворення даного рівнеміра від нульового до максимального значень рівня чотирихлористого вуглецю визначимо по рівнянню:

$$K = \frac{C_{\text{O}5} - C_{\text{O}1}}{H_1 - H_0} ,$$

$$K = \frac{80,62 - 77,81}{2 - 0} = 1,4 \text{ i } \hat{\text{O}} / \text{i} .$$

де  $C_{\text{T}5}$  і  $C_{\text{T}1}$  – ємності конденсатора, повністю заповненого відповідно рідиною і її парами;

$H_M$  і  $H_0$  – верхнє і нижнє значення рівня в ємності.



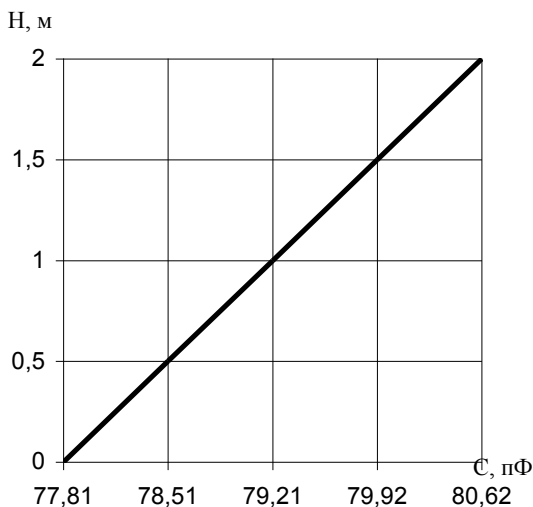


Рисунок 3.4 – Статична характеристика ємнісного перетворювача для виміру рівня чотирихлористого вуглецю

### Запитання для самоконтролю

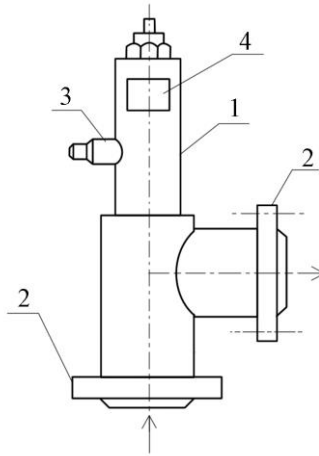
1. Класифікація засобів вимірювання рівня.
2. Фізичні основи вимірювання рівня за зміною ємності.
3. Особливості використання ємнісних рівнемірів.
4. Конструкція і принцип дії ємнісних рівнемірів.
5. Методика розрахунку ємнісних рівнемірів.

## 4 ВІМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ ВИТРАТОМІРАМИ ПОСТІЙНОГО ПЕРЕПАДУ ТИСКУ

### 4.1 Ротаметри з електричним перетворювачем

Витратоміри постійного перепаду тиску або ротаметри встановлюються на трубопроводах діаметром менше 50 мм і застосовуються для виміру ТА автоматичного регулювання відносно невеликих витрат газів і рідин у межах від 0,063 до 40 м<sup>3</sup>/год по повітрю і від 0,0025 до 16 м<sup>3</sup>/год по воді.

Для виміру витрати методом постійного перепаду тиску широко використовуються ротаметри з електричним перетворювачем і вторинним приладом диференційно–трансформаторної системи типу КСД. Зовнішній вигляд такого ротаметра наведений на рис. 4.1.



1 – корпус; 2 – фланці; 3 – чотириштирькове штекерне рознімання; 4 – табличка паспортних даних ротаметра

Рисунок 4.1. – Зовнішній вигляд ротаметра з електричним перетворювачем:

Принципова схема ротаметра з електричним вихідним сигналом наведена на сторінці 86 рекомендованої літератури [5], а методика розрахунку – на сторінках 89 – 95 цієї літератури

#### 4.2 Прилад диференційно–трансформаторної системи КСД–250

Прилад призначений для виміру і реєстрації на дисковій діаграмі сигналів від диференційно–трансформаторного датчика витрати, тиску, рівня (у вузьких межах) і ін., що мають стандартні вихідні сигнали 0–10 або –10...0...+10 мГн; сигналізації і регулювання параметрів технологічного процесу; перетворення вхідного сигналу у вихідний уніфікований безперервний струмовий або частотний сигнал. Принципова схема цього приладу в комплекті з первинним перетворювачем наведена на сторінці 10 рекомендованої літератури [3], а зовнішній вигляд приладу КСД–250–3211 на рис. 4.2.

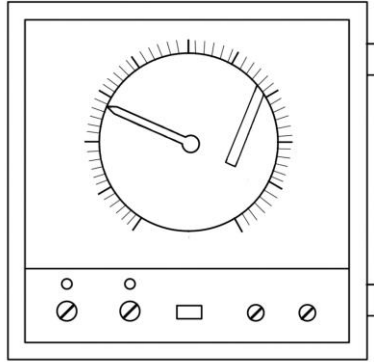


Рисунок 4.2 – Зовнішній вигляд вторинного приладу моделі КСД 250

Цифри модифікації цієї моделі мають наступну розшифровку: 3 – прилад, що має швидкодію 16 с і час оберту диска 8 год; 2 – сигналізацію «Мало» і «Багато» та контактні виходи постійного струму +24 В і –24 В на реле РЭК28–1; 1 – уніфікований струмовий вихідний сигнал 0–5 мА; 1 – живлячу напругу 220 В з частотою 50 Гц.

Прилад виконано у прямокутному сталевому корпусі, призначеному для щитового монтажу, має круглу шкалу довжиною по периметру 560 мм і діаметром 250 мм.

На центральній осі приладу, розташованій під кутом 45° до горизонту, встановлений повзунк 100%-го реостатного задавача. Кожному значенню вимірюваної величини відповідає певне положення контакту повзунка на намотуванні.

Унизу на передній панелі (зліва направо) розташовані: світлодіод сигналізації «Мало»; під ним – змінний резистор для завдання сигналізації «Мало»; світлодіод сигналізації «Багато»; під ним – резистор сигналізації «Багато»; кнопка «Контроль» для перевірки справності приладу; два резистори встановлення меж регулювання.

Схема електричних підключень приладу КСД–250–3211 наведена на рис. 4.3.

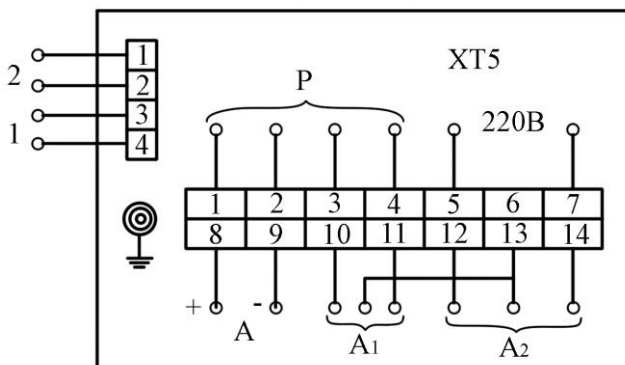


Рисунок 4.3 – Схема електричних підключень приладу КСД-250.3211

Призначення контактів наступне. 1, 2 – відповідно первинна і вторинна обмотки диференційно-трансформаторного перетворювача; Р – регулятор (1 – багато, 3 – мало, 2 й 4 – загальні); А – вихідний сигнал 0–5 мА; А<sub>1</sub> – сигнал реле РЭК28–1 для сигналізації «мало» (10 – контакт замкнеть; 11 – контакт розімкнеть, 13 – загальний); А<sub>2</sub> – сигнал на реле «багато» (12 – контакт замкнутий; 14 – контакт розімкнутий)

### 4.3 Прилади пневматичної гілки

Зовнішній вигляд ротаметра з уніфікованим пневматичним вихідним сигналом наведений на сторінці 184 [2], а також на сторінці 161 [4].

Принципова схема ротаметра з уніфікованим вихідним пневматичним сигналом наведена на стор. 89 [5].

Розрахунок такого ротаметра аналогічний розрахунку ротаметра з електричним вихідним сигналом, що наведений на сторінках 89–95 літератури [5].

Дані прилади працюють у комплекті з датчиками, що мають уніфікований пневматичний сигнал 20–100 кПа. Вони призначені для виміру витрати температури, рівня й інших технологічних параметрів. Зовнішній вигляд приладу серії ФК0071 наведений на рисунку 4.4.

Вимірювальна частина приладу складається із трьох шкал і діаграмного паперу. По лівій шкалі визначається величина тиску, що надходить від датчика, стрілка правої шкали вказує тиск на виконавчому механізмі, середня шкала слугує для контролю величини тиску завдання.

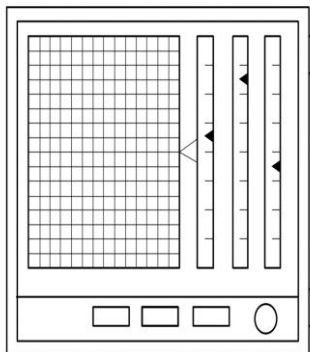


Рисунок 4.4 – Зовнішній вигляд вторинного приладу серії ФК0071

У нижній частині приладу розташований кнопковий механізм, що дозволяє здійснювати (зліва направо) ручне, автоматичне або автоматичне програмне регулювання. Праворуч перебуває задавач для встановлення значення регульованої величини.

Зовнішній вигляд вторинного приладу серії ФК0072 відрізняється від наведеного на рис. 4.4 тим, що він не має діаграмного паперу та записуючого пристрою. Все переднє вимірювальне поле займають три шкали, які значно ширше, ніж у приладу ФК0071.

Схеми вимірювальних пристроїв приладів ФК0071 і ФК0072 складаються із трьох блоків, кожний з яких ідентичний наведеному на сторінці 12 рекомендованої літератури [3]. На перший блок надходить сигнал контрольованого параметра, на другий – тиск величини завдання і на третій – тиск від виконавчого механізму. Живлення стисненим повітрям всіх трьох блоків здійснюється від загальної лінії.

Схема зовнішніх підключень приладів типу ФК наведена на сторінці 50 рекомендованої літератури [3].

### **Запитання для самоконтролю**

1. Класифікація витратомірів і лічильників.
2. Принцип дії ротаметрів.
3. Конструкція ротаметрів з електричним і пневматичним вихідним сигналом.
4. Методика розрахунку ротаметрів з електричним вихідним сигналом.

## 5 ВІМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ ВИТРАТОМІРАМИ ЗМІННОГО ПЕРЕПАДУ ТИСКУ

### 5.1 Вимірювання витрати засобами пневматичної гілки

Різноманіття вимірюваних середовищ, що характеризуються різними властивостями, а також різні вимоги до метрологічних характеристик, призвели до створення засобів виміру витрати різних галузей: пневматичної, електричної, комбінованої.

Одним з датчиків при вимірюванні витрати методом змінного перепаду тисків пневматичної галузі є камерна діафрагма в комплекті з дифманометром або перетворювачем перепаду тиску, що мають уніфікований пневматичний вихідний сигнал у межах від 0,02 до 0,1 МПа.

Конструкцію і принцип дії камерної діафрагми наведено на сторінці 49 [5] або на сторінці 162 [2].

Зовнішній вигляд дифманометра типу ДМПК–100 з уніфікованим пневматичним сигналом наведений на рис. 5.1, а принципова схема мембранного дифманометра із пневматичним вихідним сигналом наведена на сторінці 58 [5].

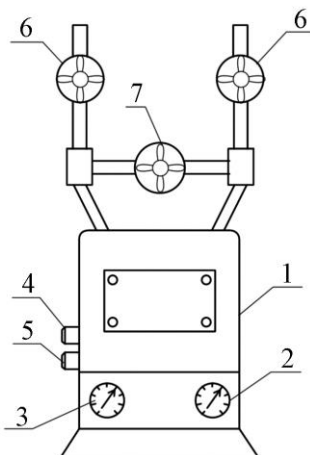


Рисунок 5.1 – Зовнішній вигляд дифманометра типу ДМПК–100: 1 – корпус; 2 – манометр живлення; 3 – манометр вихідного сигналу; 4 – штуцер вихідного сигналу; 5 – штуцер вхідного сигналу; 6 – запірні вентиля; 7 – зрівняльний ventиль

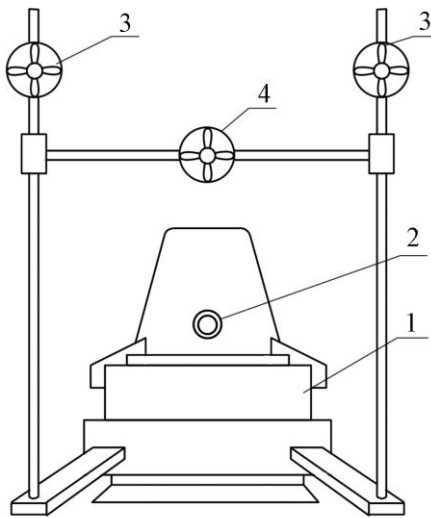
Датчики цієї галузі працюють у комплекті із вторинними пневматичними приладами ФК, наведеними в підрозділі 4.4 дійсних вказівок.

Методика та приклади спрощеного розрахунку діафрагм у комплекті з дифманометрами-витратомірами викладені на сторінці 62–82 [5], а більш докладні – на сторінках 479–589 [3].

### 5.2 Вимірювання витрати засобами електричної гілки

Датчиком при вимірюванні витрати методом змінного перепаду тисків електричної галузі є звужуючий пристрій у комплекті з дифманометром диференційно-трансформаторної системи або перетворювачем перепаду тиску типу «Сапфір–22 ДД», АИР, Метран, Квант та ін.

Конструкцію і принцип дії камерної діафрагми, як ми вже відзначали, наведено на сторінці 49 [5] або на сторінці 162 [2]. Зовнішній вигляд дифманометра типу ДМ–3583М диференційно-трансформаторної системи наведений на рис. 5.2, а принципова схема наведена на сторінці 54 [5].



1 – корпус; 2 – чотириштирьбовий штекерний роз'єм; 3 – напірні вентиля; 4 – вивірювальний вентиль.

Рисунок 5.2 – Зовнішній вигляд дифманометра типу ДМ–3583М

Дифманометри-витратоміри даного типу працюють у комплекті із вторинними приладами диференційно-трансформаторної системи типу КСД–250, які викладені в підрозділі 4.2 дійсних вказівок.

Зовнішній вигляд перетворювача перепаду тиску типу «Сапфір–22М ДД» з уніфікованим вихідним струмовим сигналом наведений на сторінці 57 (правий рисунок) [5], а його принципова схема – на сторінці 56[5].

Ці перетворювачі перепаду тиску можуть працювати із вторинними приладами типу РП160, викладені в підрозділі 2.3 дійсних вказівок, або із приладами Диск–250, що викладені в підрозділі 2.5.

Розрахунок звужуючих пристроїв у комплекті з перетворювачами перепаду тиску типу «Сапфір–22 ДД» виробляється по тій же методиці, що і розрахунок звужуючих пристроїв у комплекті з дифманометрами-виратомірами.

Для розрахунку звужуючих пристроїв необхідні дані по внутрішньому діаметру трубопроводу, по якому протікає вимірюване середовище. Звичайно цей діаметр попередньо визначають по рівнянню:

$$D = \sqrt{\frac{4Q_{\max}}{3600 \varphi W}}$$

де  $D$  – внутрішній діаметр трубопроводу, м;

$Q_{\max}$  – максимальна витрата речовини, що протікає в трубопроводі, м<sup>3</sup>/год;

$W$  – швидкість потоку, м/с.

Практика експлуатації трубопровідних мереж дозволила сформулювати норми швидкостей для транспортування середовища. По даним Конструкторського бюро автоматики вони мають значення, наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Рекомендовані швидкості для транспортування середовищ.

Характеристика середовища	Рекомендована швидкість, м/с
Вода	1–3
Газ низького тиску (до 0,6 МПа)	6–10
Газ високого тиску	12–24
Стиснене повітря	8–16
Насичена пара (до 1,2 МПа)	16–24
Насичена пара високого тиску	24–40
Перегріта пара	40–60

Експлуатація трубопровідних мереж технологічних процесів пов'язана з витратами енергії на переміщення матеріальних потоків. Дисоціація енергії при переміщенні речовини в трубопроводах залежить від режимів течії.



Найбільш економічними є турбулентні режими.

#### **Запитання для самоконтролю**

1. Класифікація витратомірів і лічильників.
2. Фізичні основи методу змінного перепаду тиску.
3. Модуль і коефіцієнт витрати звужуючого пристрою.
4. Основні види звужуючих пристроїв.
5. Особливості застосування діафрагм.
6. Суть методу послідовних наближень при розрахунках діафрагм.

#### **СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. Фарзане Н.Г. Технологические измерения и приборы / Н.Г. Фарзане, Л.В. Ільясов, А.Ю. Азім-Заде – М. : Высшая школа., 1989.
2. Бабіченко А.К. Промислові засоби автоматизації. ч.1. Вимірювальні прилади : навч. посібник / Бабіченко А.К. та ін. за аг. ред. А.К. Бабіченко. – Х. : НТУ «ХП», 2001.
3. Бабіченко А.К. Промислові засоби автоматизації. ч.2. Регулюючі й виконавчі прилади : навч. посібник / Бабіченко А.К. та ін. за заг. ред. А.К. Бабіченко. – Х. : НТУ «ХП», 2003.
4. Черенков В.В. Промислові прилади й засоби автоматизації : довідник / Черенков В.В. та ін. за заг. ред. В.В. Черенкова. – Л.:Машинобудування, .
5. Методи розрахунків в автоматизації хіміко–технологічних і теплоенергетичних процесів: Навчальний посібник / В.Т. Єфімов, В.І. Молчанов, А.В. Єфімов. – Харків, ХГПУ, 1998.

ДОДАТКИ  
ДОДАТОК А  
**Зразок оформлення реферату до курсового проекту**

---

РЕФЕРАТ

Звіт про КП: 31 стор.; 8 табл.; 10 рисунків; 5 використаних джерел.

Ключові слова: ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ, ДІАФРАГМА, ДИФМАНОМЕТР

Представлена робота присвячена вивченню методів вимірювання витрати і розрахунку звужуючих пристроїв.

Метою роботи є розрахунок камерної діафрагми для вимірювання витрати води.

У роботі наведено аналітичний огляд засобів вимірювання витрати, теоретичні основи розрахунку звужуючих пристроїв, проведено розрахунок камерної діафрагми і надано рекомендації по її монтажу і експлуатації.

ДОДАТОК Б  
Зразок габаритно-монтажного креслення дифманометра

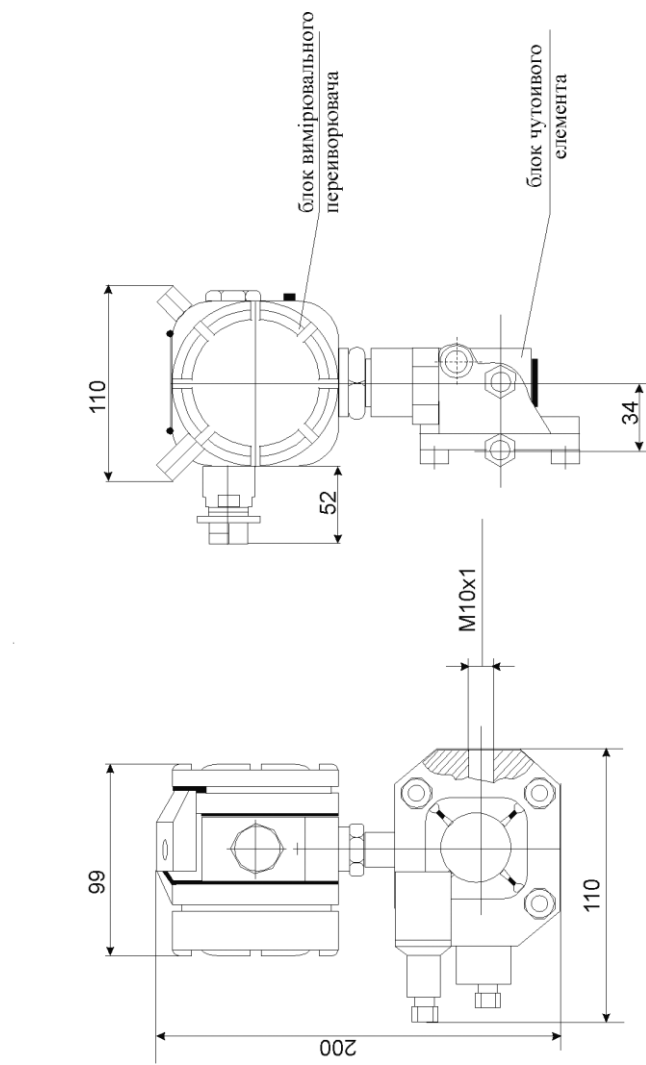


Рисунок Б.1 – Габаритно-монтажне креслення приладу Сапфір-22 ДИ

**ДОДАТОК В**  
**Зразок схеми електричних з'єднань**

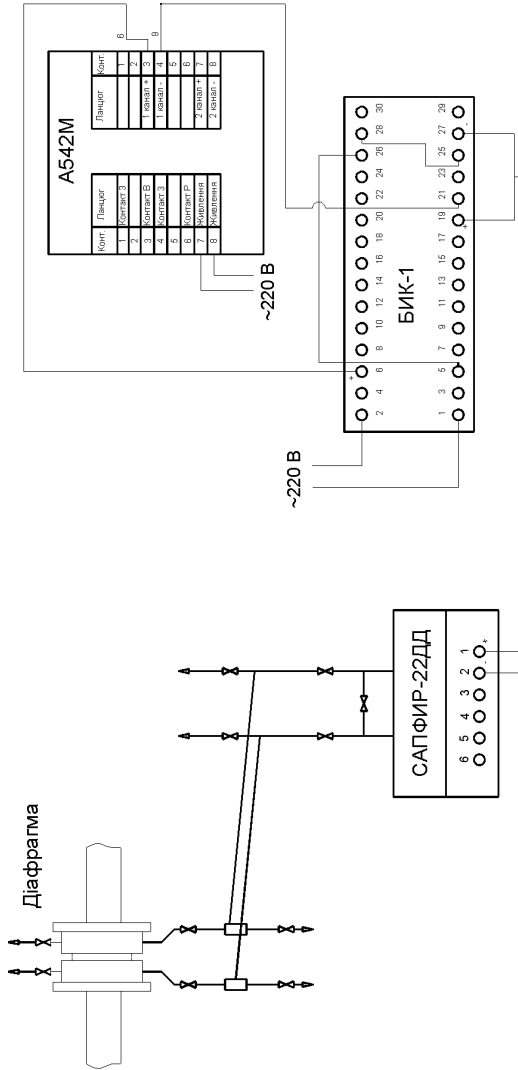


Рисунок В.1 – Креслення схеми електричних з'єднань вимірювального комплексу

## ЗМІСТ

Вступ.....	3
1. Структура курсового проекту.....	3
2. Вимірювання температури.....	5
2.1. Загальні відомості.....	5
2.2. Розрахунок оптимальної сили струму, що протікає через термоперетворювач опору.....	7
2.3. Приклад розрахунку оптимальної сили струму, що протікає через термоперетворювач опору.....	8
2.4. Конструкція, принцип дії та схема підключення приладу РП160.....	10
2.5. Конструктивний розрахунок реохорда приладу РП160.....	13
2.6. Конструкція, принцип дії і схема підключення приладу Диск–250.....	16
3. Вимірювання рівня.....	18
3.1. Конструкція, принцип дії та схема підключення ємнісного рівнеміра.....	18
3.2. Методика розрахунку ємнісного рівнеміра.....	20
3.3. Приклад розрахунку ємнісного перетворювача.....	22
4. Вимірювання витрати витратомірами постійного перепаду тиску.....	25
4.1. Ротаметри з електричним перетворювачем.....	25
4.2. Прилад диференційно–трансформаторної системи КСД–250.....	26
4.3. Прилади пневматичної гілки.....	28

5. Вимірювання витрати витратомірами змінного перепаду тиску.....	30
5.1. Вимірювання витрати засобами пневматичної гілки.....	30
5.2. Вимірювання витрати засобами електричної гілки.....	31
Список літератури.....	33
Додаток А. Зразок оформлення реферату до курсового проекту...	35
Додаток Б. Зразок габаритно-монтажного креслення дифманометра.....	35
Додаток В. Зразок схеми електричних з'єднань.....	36

Навчальне видання

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**для курсового проєктування з курсу «Технологічні вимірювання і прилади» для студентів на рівні бакалаврів очної та заочної форм навчання напряму підготовки 050202 «Автоматизація і комп'ютерно-інтегровані технології»**

Укладачі: БУКАТЕНКО Олексій Іванович  
ТОШИНСЬКИЙ Володимир Ілліч  
ПУГАНОВСЬКИЙ Олег Валентинович

Відповідальний за випуск: В.І. Тошинський

Роботу до видання рекомендувала М.Г. Зінченко

В авторській редакції

План 2011р., поз. 186/\_\_\_\_\_

Підп. до друку \_\_.\_\_.2011. Формат 60×84 1/16. Папір офсет. Друк-RISO.  
Гарнітура TimesNewRoman. Ум. друк. арк. . Наклад 100 прим.  
Зам. №\_\_\_\_\_. Ціна договірна.

---

Видавничий центр НТУ „ХПІ”.61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.  
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 3657 від 24.12.2009 р.

---

ТОВ "Видавництво "Підручник НТУ "ХПІ". 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.  
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 3656 від від 24.12.2009 р.

