

ПРИЛАДИ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ТИСКУ

2.1. Мета роботи

Вивчення принципу дії та будови приладів для вимірювання тиску та проведення їх повірки.

2.2. Загальні відомості

Тиск визначається як нормальна сила, що направлена під прямим кутом до площини поверхні, і діє на одиницю поверхні. Одиницею вимірювання тиску є **Паскаль** (Па, Ра), який дорівнює 1 Н/м^2 . Похідні від цієї величини $1 \text{ кПа}=1000 \text{ Па}$ та $1 \text{ МПа}= 1000000 \text{ Па}$. В різних галузях техніки також використовуються несистемні одиниці вимірювання тиску: міліметр ртутного стовпа ($1 \text{ мм. рт. ст.} = 133,32 \text{ Па}$), міліметр водного стовпа ($1 \text{ мм вод.ст.}= 9,8066 \text{ Па}$), фізична атмосфера ($1 \text{ атм.}=0,10133 \text{ МПа}$), технічна атмосфера ($1 \text{ ат.}= 1 \text{ кгс/см}^2 = 10133 \text{ МПа}$), бар ($1 \text{ бар}=0,1 \text{ МПа}$).

Розрізняють наступні тиски:

– **абсолютний тиск** $P_{абс}$ – тиск, виміряний відносно абсолютного нуля (за температури 0 К);

– **відносний тиск** (тиск датчика) $P_{відн}$ – тиск, виміряний відносно атмосферного тиску $P_{атм}$, який на поверхні Землі вважається рівним 100 кПа .

На поверхні Землі справедлива рівність

$$P_{абс} = P_{відн} + P_{атм}.$$

Прилади для вимірювання тиску розрізняються за **назвами** на:

– манометри – прилади для вимірювання надлишкового тиску або абсолютного тиску;

– вакуумметри – прилади для вимірювання тиску нижче атмосферного (вакууму);

– диференціальні манометри – прилади для вимірювання різниці тисків.

За **принципом дії** прилади для вимірювання тиску розрізняють на основні групи:

– рідинні (вимірюваний тиск або різниця тисків врівноважуються тиском стовпчика рідини відповідної висоти);

– деформаційні (вимірюваний тиск визначається за величиною деформації пружних чутливих елементів);

– електричні (визначається за залежністю електричних параметрів манометричного перетворювача від вимірюваного тиску).

2.2.1. Деформаційні манометри

Принцип дії деформаційних приладів для вимірювання тиску заснований на деформації пружних чутливих елементів: одно та багатовиткових трубчастих пружин, мембран (діафрагм) і мембранних коробок, сільфонів та ін., пружні частини яких наведено на рис. 2.1.

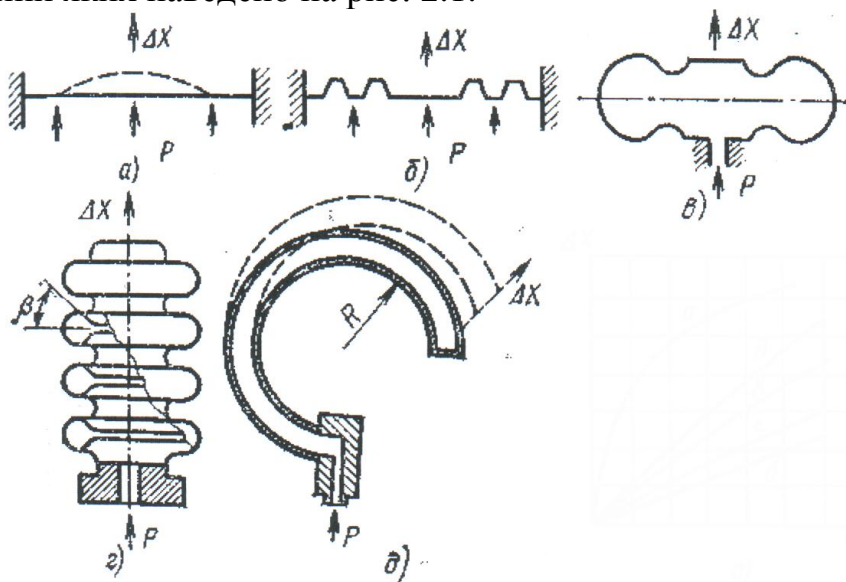


Рис. 2.1. Пружні чутливі елементи приладів для вимірювання тиску:
а) – в'яла мембрана (діафрагма); б) – гофрована мембрана; в) – мембранна коробка; г) – сільфон; д) – трубчаста пружина Бурдона

2.2.1.1. Манометричні трубчасті пружини

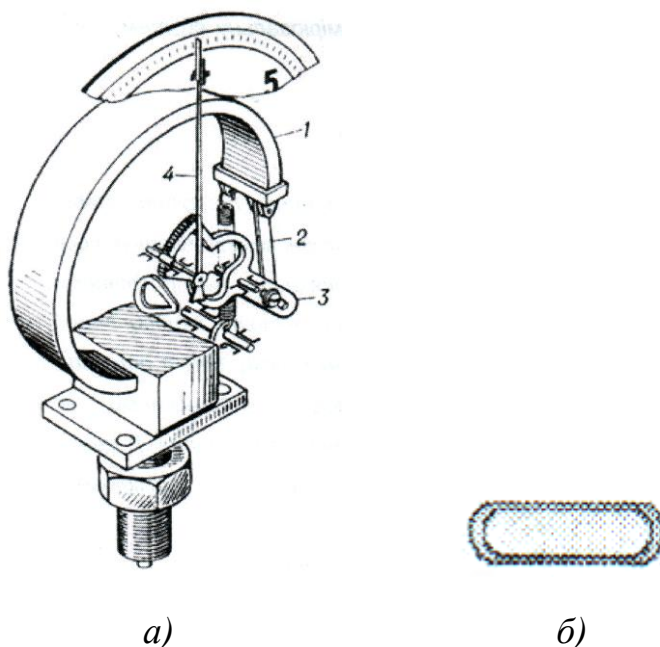


Рис. 2.2. Деформаційний манометр з С-подібною манометричною трубчастою пружиною: а) – конструкція манометра, б) – поперечний переріз трубки

Чутливий елемент 1 деформаційного манометра (рис. 2.2, а) виготовляється у вигляді С-подібної трубки (трубки Бурдона, рис. 2.1, д) еліптичного

перерізу (рис. 2.2, б) з латуні, пружинної сталі або форсфористої бронзи. Один кінець трубки запаятий і рухомий, зв'язаний із важелем 2, який передає переміщення на передаточний механізм 3, а далі на стрілку 4. Інший кінець трубки нерухомий, приварений до штуцера, через який підводиться вимірюване середовище. Під дією змінюваного тиску рідини або газу трубка розгинається і змінює положення вільного кінця на Δx і, в свою чергу, до розкручування трубки на невеликий кут (максимум до 52°).

При зменшенні тиску чутливий елемент повинний повернутися у вихідний стан. Величина неповернення зазвичай називається пружним гістерезисом і є джерелом похибки приладу.

2.2.1.2. Сильфони

Сильфон (рис. 2.1, з) являє собою тонкостінну трубку з кільцевими гофрами на боковій поверхні. Верхній кінець трубки запаятий, а нижній кінець закріплений і слугує для підведення вимірюваного середовища. Пружність сильфона визначається матеріалом та товщиною стінки, кількістю гофр та їх кривизною. При зміні тиску рідини або газу вільний (жорсткий) кінець рухається поступово на величину Δx .

Прилади із застосування сильфонів більш чутливі до змінювання тиску, ніж трубчасті пружини, тому мають застосування для вимірювання порівняно невеликих розріджень та тисків.

2.2.1.3. Мембрани (діафрагми) та мембранні коробки

В мембранних чутливих елементах (рис. 2.1, а, б) та мембранних коробках (рис. 2.1, в) тиск перетворюється в деформацію пружної мембрани, де чутливим елементом є вся поверхня мембрани, яка прогинається під дією тиску. Для того, щоб залежність прогину мембрани від тиску була близькою до лінійної, центр мембрани роблять «жорстким», тобто значно товстішим, ніж робоча поверхня мембрани.

Найчастіше в сучасних приладах деформацію активної частини мембрани перетворюють в електричний параметр за допомогою мембранних перетворювачів «тиск \Rightarrow деформація» або «тиск \Rightarrow невеликі переміщення». В першому випадку перетворення в електричний вихідний сигнал можна реалізувати двома способами: або за допомогою тензорезисторів (прилади російського заводу «МАНОМЕТР», німецької фірми Siemens) (рис. 3.4, а), або за рахунок зміни власної частоти коливань деформованої балки, жорстко зв'язаної з мембраною (японської фірми Yokogawa). Невеликі переміщення можна перетворити в зміну ємності електричного конденсатора, одна з обкладінок якого є пружною мембраною (технологія Rosemount) (рис. 3.4, б).

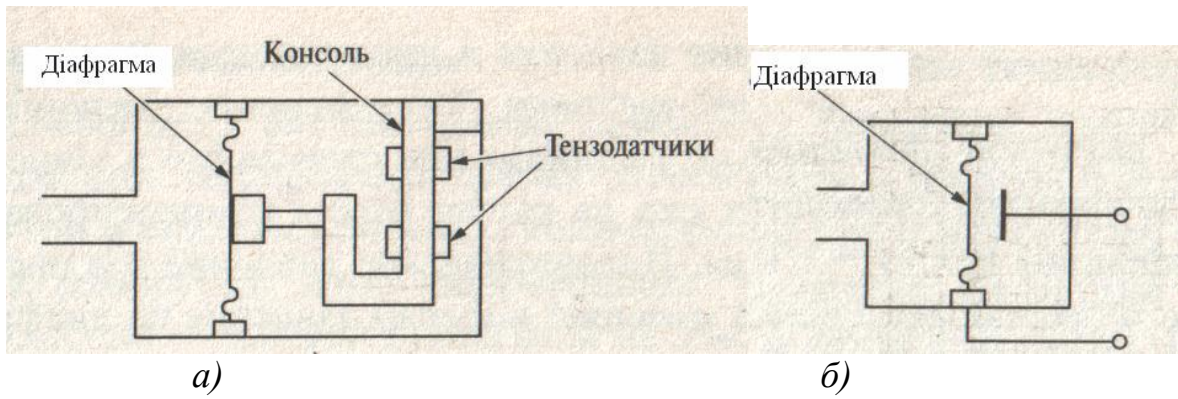


Рис. 2.4. Принципові схеми перетворення тиску:

а – «тиск \Rightarrow деформація»; б – «тиск \Rightarrow невеликі переміщення»

Для перетворення деформації чутливих елементів в електричний сигнал найбільше розповсюдження в промисловості отримали **тензорезистори**.

Відомо, що опір R провідника є функцією площі поперечного перерізу A провідника, його довжини l та питомого опору ρ :

$$R = R(A, l, \rho).$$

Якщо провідник розтягується або стискається, то його параметри A , l та ρ змінюються, і, як наслідок, змінюється R . Це дає можливість виміряти дуже маленькі переміщення.

На рис. 2.5, а, показаний відрізок дрота (тензодатчик), який подовжується на величину Δl при прикладенні розтягувальних зусиль. При цьому змінюється діаметр та поперечний переріз (зменшується відповідно на Δd та ΔA).

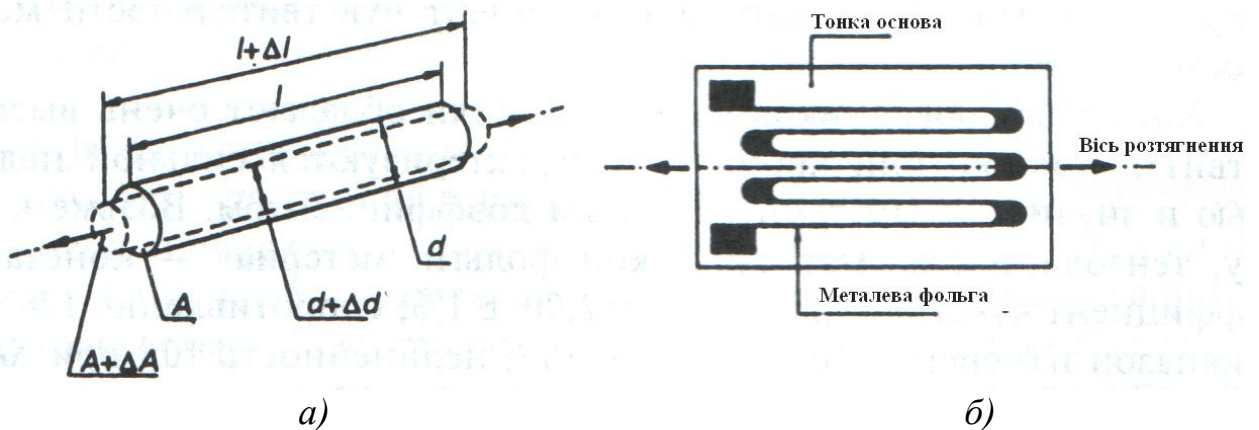


Рис. 2.5. Дротовий (а) тензодатчик та тензодатчик з металевою фольгою (б)

Тензорезистори можуть бути виготовленими з металу (дротові, фольгові або плавкові) або напівпровідника (полікристалічні з порошкоподібного напівпровідника та монокристалічного з кристалу кремнію), можуть наклеюватися або вирощуватися на поверхні мембрани. Особливо широке застосування у виготовленні вимірювальних перетворювачів тиску в наслідок їх високих механічних, ізоляційних та теплостійких властивостей отримала технологія «кремній на сапфірі» (Довідка: сапфір – це мінерал (різновид корунду,

підклас простих окислів алюмінію), який виготовляють синтетично і який являє собою кристал синього чи голубого кольору з домішками заліза та титану.

Найчастіше для виявлення деформації мембрани на ній розміщують 4 тензорезистори таким чином, як показано на схемі 3.6, щоб утворився незрівноважений міст Уінтстона, як на рис. 2.7. Деформація мембрани під дією зовнішнього тиску P призводить до локальних деформацій тензорезисторів в мосту та його розбалансу – зміни напруги на виході моста, яка вимірюється електронним блоком.

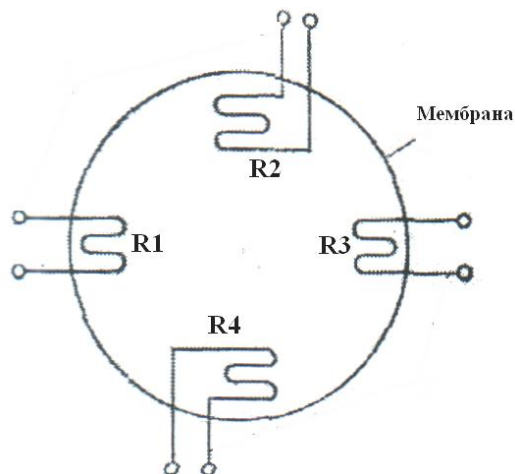


Рис. 2.6. Розміщення тензодатчиків на вимірювальній мембрані

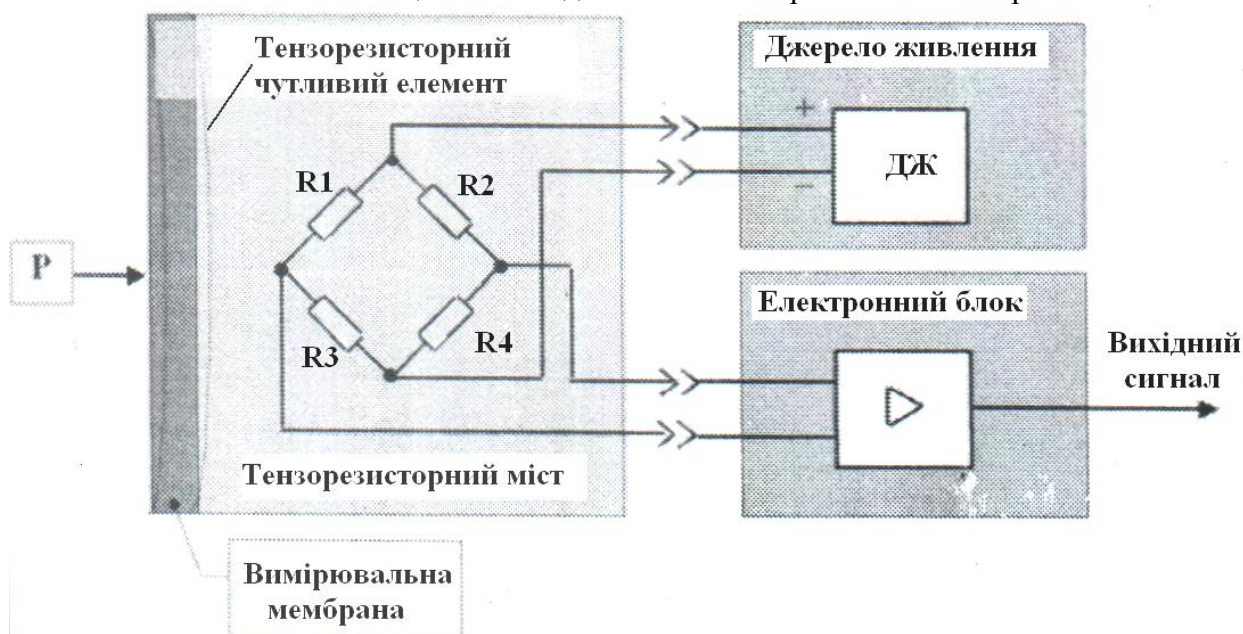


Рис. 2.7.

2.2.2. Вимірювальний перетворювач надлишкового тиску SITRANS P

Вимірювальний перетворювач Sitrans P серії ZD фірми «Siemens» – це конфігурований вимірювальний прилад, який використовується для вимірювання надлишкового та абсолютного тисків газів, рідин та пари в різних галузях промисловості (хімічній, харчовій, водопостачання і ін.).

Sitrans P серії ZD (рис. 2.8, *a*) складається з тонкоплівкової комірки з керамічною мембраною (рис. 2.8, *б*), плати електроніки та вбудованого індикатора РКД для представлення величини вимірюваного тиску за місцем. Всі елементи зібрані в корпусі з нержавіючої сталі.



Рис. 2.8. Вимірювальний перетворювач надлишкового тиску SITRANS P, серія ZD: *a*–зовнішній вигляд; *б* – функціональна схема вимірювальної комірки: 1– еталонний тиск; 2– вимірювальна комірка; 3 – штуцер підключення до процесу; 4 – розділювальна мембрана; 5– наповнювальна рідина; 6 – кремнієвий сенсор тиску; p_e – вхідна величина тиску

Тиск p_e через штуцер 3 подається на вимірювальну комірку 2, далі через розділювальну мембрану 4 та наповнювальну рідину 5 передається на кремнієвий сенсор тиску 6, деформуючи його вимірювальну мембрану. На мембрані встановлені чотири тензодатчики, які зібрані у мостову схему. Під дією тиску вони змінюють свій опір, чим викликають появу вихідної напруги моста, пропорційної вхідному тиску, яка подається на блок аналого-цифровий перетворювач *A/D* вимірювального перетворювача.

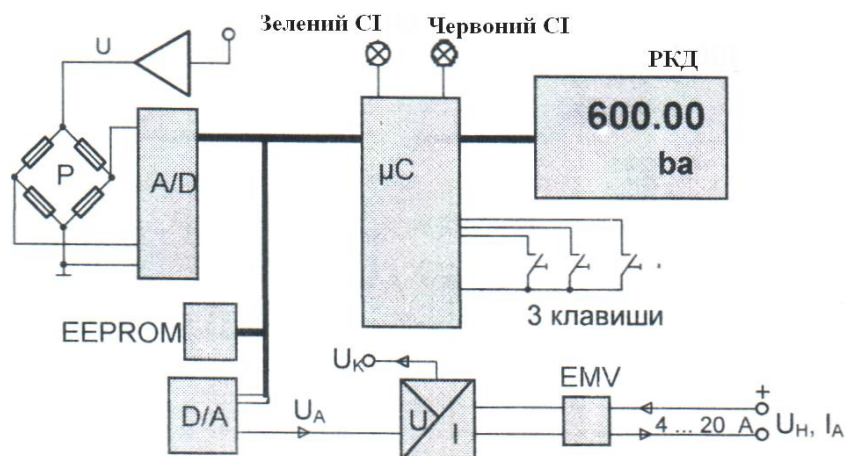


Рис. 2.9. Функціональна схема вимірювального перетворювача надлишкового тиску SITRANS P серії ZD

Вимірювальний перетворювач (рис. 2.9) розбитий на наступні функціональні блоки та окремі функції:

- *A/D* – аналого-цифровий перетворювач (АЦП);
- *D/A* – цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП);
- 3 клавіші конфігурування параметрів;

- EEPROM – пам'ять для всіх параметрів;
- U/ I – ступінь перетворювача напруга/струм та джерело постійної напруги;
- EMV – вихідний каскад с захистними компонентами;
- I_A – вихідний уніфікований струмовий сигнал (4...20mA);
- U_K – контрольна (зразкова) напруга стабілізатора струму;
- РКД – рідинно-кристалічний дисплей вимірюваних параметрів;
- Зелений СІ – світлодіод індикації звичайного режиму роботи;
- Червоний СІ – світлодіод індикації повідомлень про помилки та вихід тиску за верхню межу;
- μC – функціональний мікропроцесорний контролер.

Інформація в цифровій формі аналізується в мікропроцесорі μC , коректується у відповідності із температурною характеристикою лінеаризується за необхідності, та перетворюється у цифро-аналоговому перетворювачі D/A у напругу постійного струму.

Далі напруга перетворюється в стабілізаторі струму U/I в уніфікований вихідний аналоговий струмовий сигнал 4...20 mA, а вихідний каскад EMV, що вміщує в собі також компоненти захисту від короткого замкнення, поєднує уніфікований струм та струм споживання.

Вбудований 5-ти розрядний дисплей (РКД), в залежності від вибраного режиму індикації, може надавати за місцем наступну інформацію:

- вимірюване значення тиску;
- одиниця вимірювання (по замовчанню – в барах);
- двопозиційний сигнал «більше/менше» при відхиленні тиску за встановлені граничні межі, що фіксується світлодіодами та символами стрілочки (менше – зеленим та \downarrow , а більше – червоним та \uparrow).

2.3. Перелік приладів

	<i>Робочий манометр МТ</i>	
Межа вимірювання, кгс/см ²		0...25
Клас точності		0,6
	<i>Контрольний манометр</i>	
Межа вимірювання, кгс/см ²		0...25
Клас точності		0,4
	<i>Контрольний манометр</i>	
Межа вимірювання, кгс/см ²		0...1
Клас точності		0,35
	<i>Зразковий вантажнопоршневий манометр з гвинтовим поршневим пресом МГ-1</i>	
Клас точності		0,2
	<i>Вимірювальний перетворювач Sitrans P серії ZD</i>	
Загальна приведена похибка $\alpha_{пр}$,		
% від кінцевого значення діапазону		0,25

2.4. Опис лабораторної установки для перевірки деформаційних манометрів

Установка для перевірки деформаційних манометрів (рис. 3.10) складається з корпусу 8, колонки 6 та поршня 2.

До бобишок 3 та 7, з'єднаних з каналом колонки та циліндром поршня, заповненим рідиною, кріпляться контрольний (зразковий) та манометр, який перевіряється. Тиск рідини всередині каналів створюється або штоком 4, навантаженим каліброваними грузами 5, або переміщенням поршня за допомогою ручного штурвалу 1.

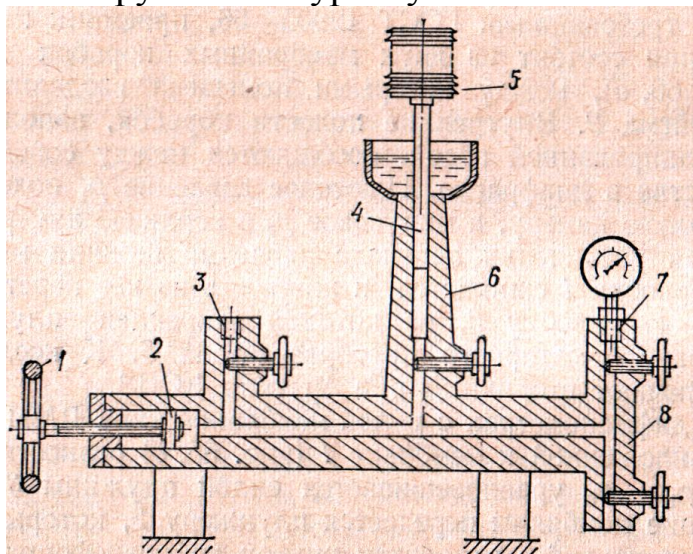


Рис. 2.10. Вантажнопоршневий манометр

2.5. Завдання до виконання роботи

1. Ознайомитись з принципом дії та будовою деформаційних манометрів.
2. Провести перевірку робочого манометра за допомогою вантажнопоршневого манометра із контрольним манометром.
3. Провести перевірку контрольного манометра за допомогою вимірювального перетворювача Sitrans P серії ZD.

2.6. Методика виконання роботи

Перевірка манометрів виконується порівнянням показань робочого манометра з показаннями контрольного або зразкового манометра при збільшенні (прямий хід) та зменшенні (зворотний хід) тиску.

Контрольні та зразкові манометри мають відповідати наступним вимогам:

- діапазон вимірювання тиску не повинен бути нижчим від діапазону вимірювання тиску повірюваного приладу;

– клас точності має бути на 2-3 класи вищим, ніж клас порівнюваного приладу.

Зразкові манометри повинні бути в робочому стані та мати паспорти (свідоцтва) державної повірки.

2.7. Контрольні запитання

1. Який принцип дії деформаційних манометрів?
2. Які чутливі елементи використовуються для вимірювання тиску?
3. Що таке тензодатчик?
4. Як здійснюється перетворення деформації мембрани у вимірювального перетворювача Sitrans P серії ZD?
5. Поясніть функціональну схему вимірювального перетворювача Sitrans P серії ZD.
6. Як здійснюється повірка манометрів?