

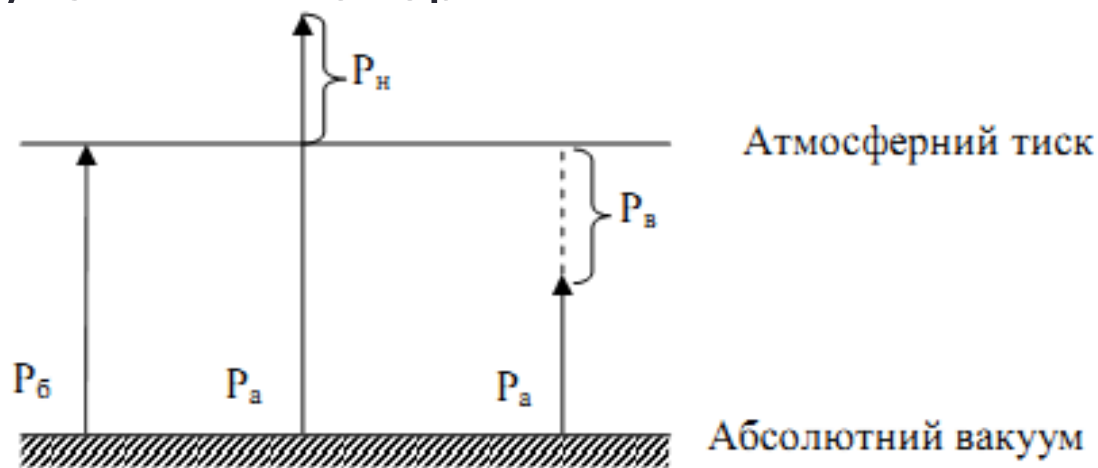
# ВИМІРЮВАННЯ ТИСКУ РІДКИХ І ГАЗОВИХ СЕРЕДОВИЩ

---

к.ф.-м.н., ст. викл.

Пилипенко О.В.

У багатьох галузях промисловості, а також у наукових дослідженнях необхідно вимірювати тиск, що створюється газовими й рідкими середовищами на огорожувальних поверхнях.



***а***      ***б***      ***в***

***а*** — барометричний (атмосферний) тиск;

***б*** — абсолютний тиск,  $P_a > P_b$ ;

***в*** — абсолютний тиск,  $P_a < P_b$ .

- Під **абсолютним тиском** розуміють повний тиск, під яким перебуває рідина або газ при відліку від абсолютного вакууму.
- Абсолютний тиск може бути більшим (б) або меншим (в) атмосферного. На практиці частіше вимірюється й використовується надлишковий тиск  $P_H$ , що дорівнює

$$P_H = P_a - P_b$$

- якщо абсолютний тиск більше атмосферного, і вакууметричний тиск

$$P_B = P_b - P_a$$

- якщо абсолютний тиск менше атмосферного.
- Прилади для виміру тиску, розрідження або різниці тисків називаються **манометрами**.

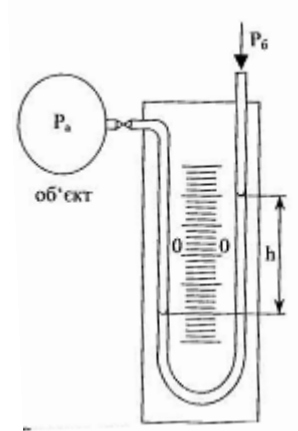
## Манометри діляться на:

- барометри, які вимірюють атмосферний тиск;
  - манометри надлишкового тиску або просто манометри;
  - напороміри, які вимірюють невеликий надлишковий тиск, приблизно від 0 до + 40 кПа;
  - тягоміри, які вимірюють розрідження, приблизно від 0 до -40 кПа;
  - тягонапороміри, які вимірюють як позитивні, так і негативні тиски й мають двосторонню шкалу з межами від -20 до + 20 кПа;
  - манометри абсолютного тиску, які вимірюють тільки значення абсолютного значення;
  - диференціальні манометри, які вимірюють різницю тисків.
- 
- Одиницею виміру тиску в системі СІ є Паскаль (Па).
  - На практиці допускається застосування внесистемних одиниць, таких як:
    - 1 мм. вод. ст. = 9,8 Па
    - 1 мм. рт. ст. = 133,3 Па
    - 1 кг/см<sup>2</sup> (1 техн. атмосфера) = 0,98066 · 10<sup>5</sup> Па

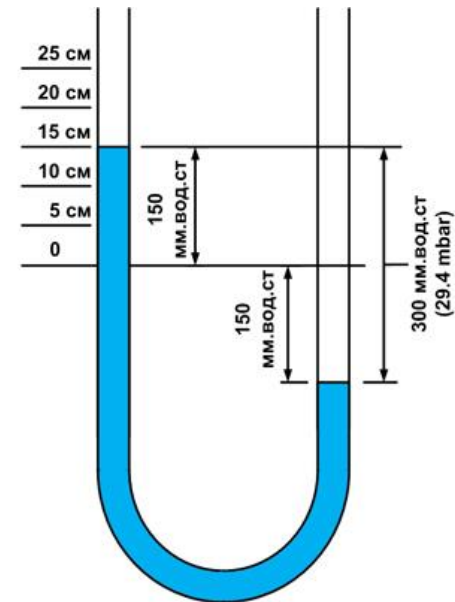
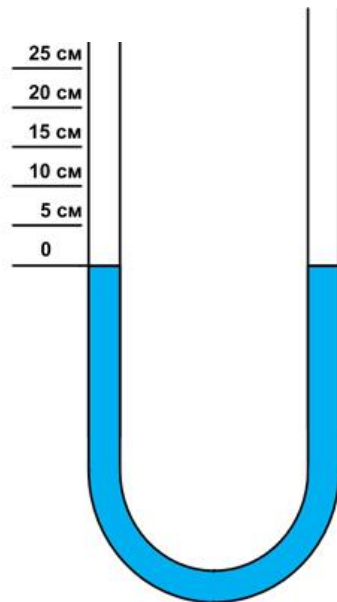
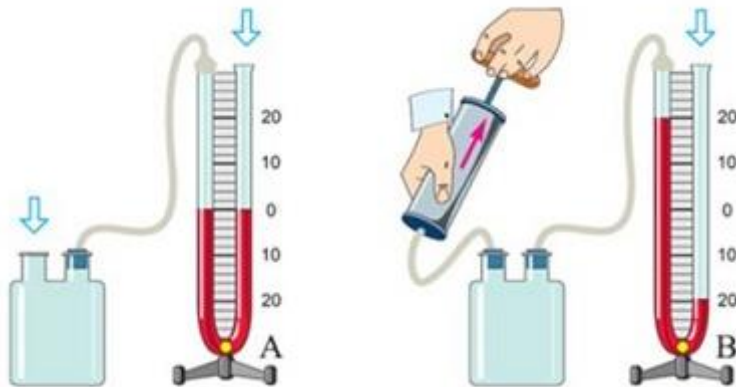
- Залежно від **принципу виміру тиску** всі прилади можна розділити на групи:
- **рідинні**, у них вимірюваний тиск урівноважується тиском стовпа рідини;
- **деформаційні** (пружинні), у них вимірюваний тиск визначається по величині деформації різних пружин чутливих елементів;
- **електричні**, принцип дії яких заснований на перетворенні тиску в якунебудь електричну величину або на зміні електричних властивостей матеріалів під дією тиску;
- **грузопоршньові**, у яких вимірюваний тиск урівноважується тиском, що створюється масою поршня й вантажу

# Рідинні манометри

У рідинних манометрах мірою виміру тиску є висота неврівноваженої частини стовпа рідини в сполучених посудинах. Найпростіший рідинний манометричний прилад складається з U-образної скляної трубки й прямолінійної шкали з найменшою ціною розподілу 1 мм



$$P_a - P_0 = \rho \cdot g \cdot h; \quad h = \frac{1}{\rho \cdot g} \cdot (P_a - P_0) \text{ ТИСКІВ:}$$



$$P_a - P_b = \rho \cdot g \cdot h; \quad h = \frac{1}{\rho \cdot g} \cdot (P_a - P_b)$$

- $P_a$  – абсолютний тиск газового (рідкого) середовища в об'єкті, Па;
- $P_b$  – атмосферний тиск у момент виміру, Па;
- $\rho$  – густина робочої рідини, кг/м<sup>3</sup>;
- $g$  – прискорення сили ваги, м/с<sup>2</sup>.

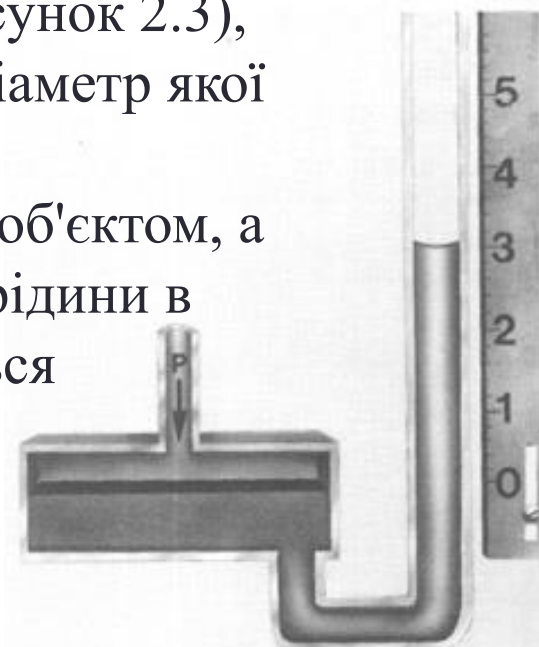
Якщо густина середовища (рідини або газу) в об'єкті помітно відрізняється від густини робочої рідини, що заповнює U-образну трубку, то вираз прийме наступний вид:

$$h = \frac{1}{g \cdot (\rho_1 - \rho_2)} \cdot (P_a - P_b)$$

$\rho_1$  – густина робочої рідини, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_2$  – густина середовища в об'єкті, кг/м<sup>3</sup>.

- Найбільша абсолютна похибка виміру тиску  $h$  U-образним манометром становить близько 2 мм, що пов'язане з неточністю зчитування (фіксації) рівня рідкого середовища у двох трубках манометра через наявність меніска (увігнутого при водяному заповненні й опуклого при ртутному заповненні). Для зменшення впливу капілярних сил у манометрах використовують скляні трубки діаметром від 8 до 10 мм.
- Для збільшення точності відліку висоти стовпа робочої рідини використовують чашкові однострубні манометри (рисунок 2.3), у яких одна трубка замінена широкою посудиною, діаметр якої в кілька разів більше діаметра трубки. При вимірі надлишкового тиску широка посудина з'єднується з об'єктом, а кінець з'єднується з атмосферою, при цьому рівень рідини в трубці піднімається, а в широкій посудині опускається





# Чашковий манометр

- При вимірі вакууметричного тиску трубка з'єднується з об'єктом, а широка посудина з атмосферою. При цьому рідина у вимірюваній трубці буде підніматися доти, поки вага стовпа рідини не зрівноважить різниця між атмосферним тиском і вакуумом контрольованого середовища.
- У цьому пристрої точний тиск або розрідження буде визначатися як сума висот опускання рідини  $h_2$  і підйоми  $h_1$ :  $h=h_1+h_2$
- Однак, на практиці, через несуттєве опускання рідини в широкій посудині  $h_2$ , тиск визначається тільки по величині  $h_1$ .
- Мінімальний діапазон виміру чашкового манометра з рідинним заповненням становить 1,6 кПа, при цьому відносна наведена похибка виміру не перевищує  $\pm 1\%$ .

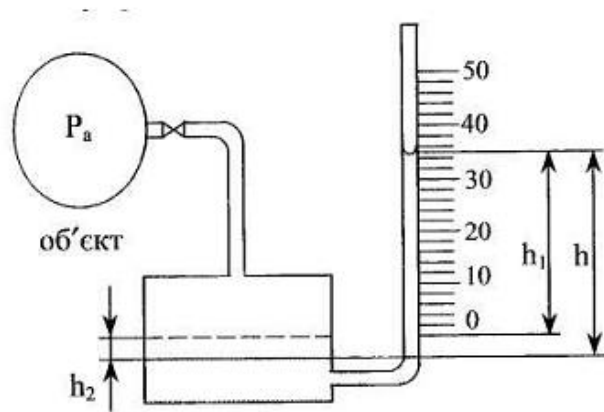
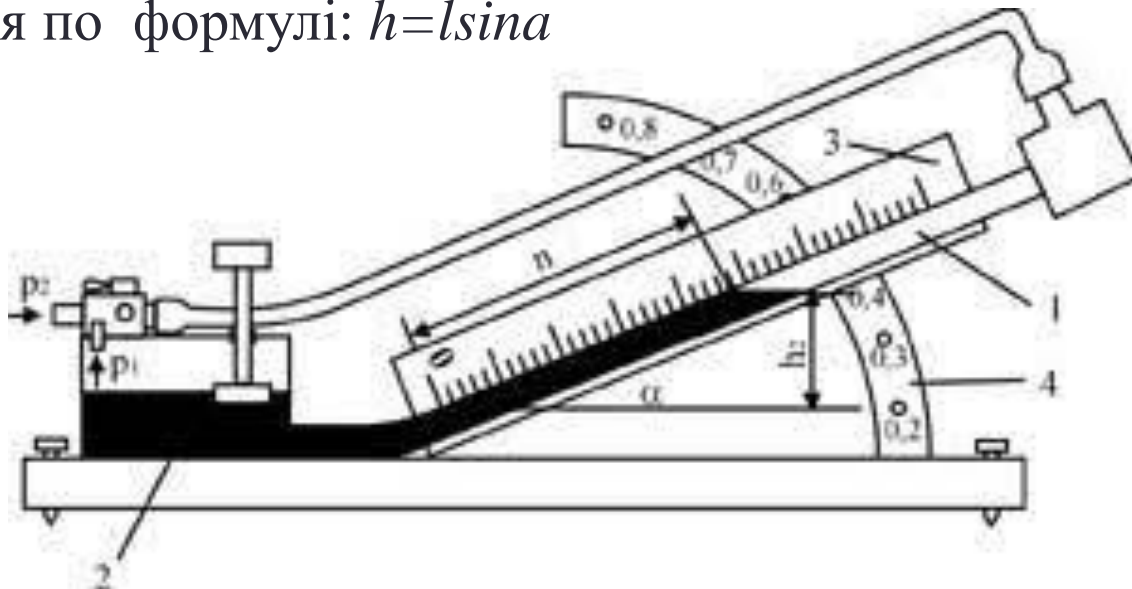


Рисунок 2.3– Чашковий манометр

# Чашковий манометр з похилою трубкою

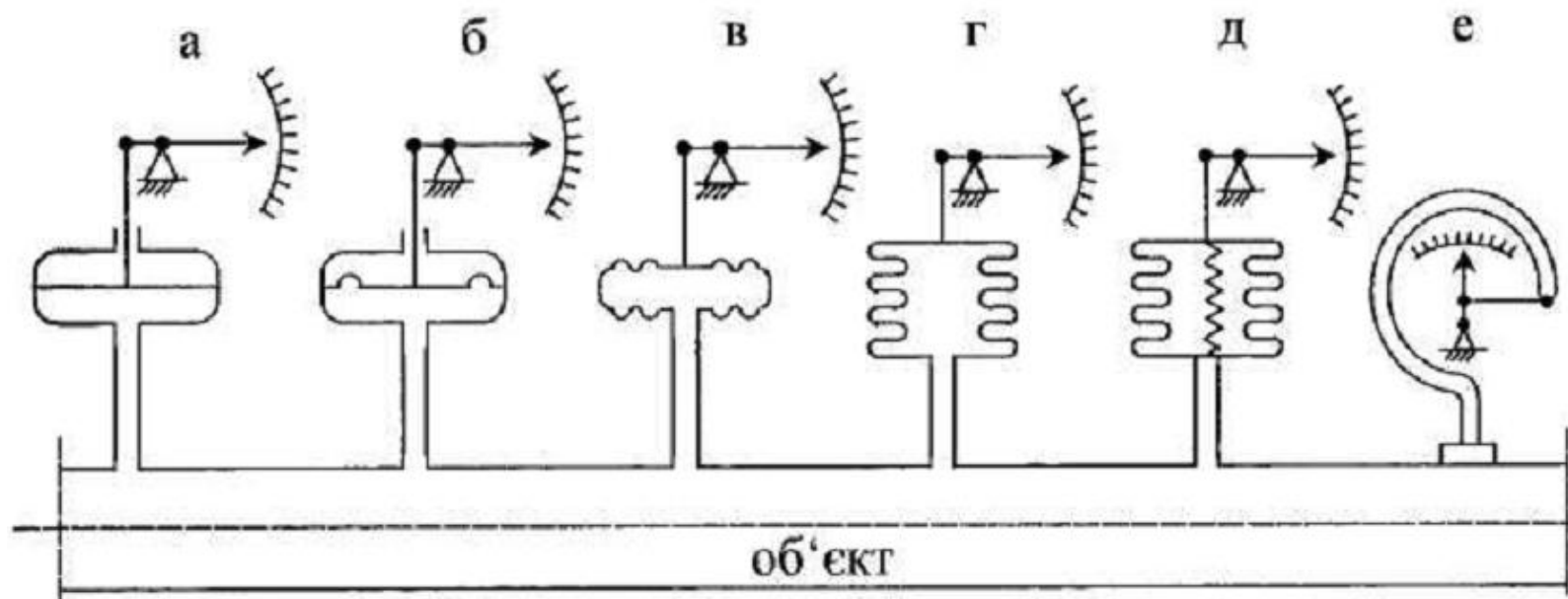
Для виміру малих тисків і розріджень ( $\pm 2500$  Па), а також для підвищення точності виміру застосовують чашкові манометри з похилою трубкою, показання яких визначаються по довжині розтікання робочої рідини в похилій трубці манометра. Такі прилади одержали назву мікроманометри й застосовуються як у лабораторній практиці так й у промислових умовах при вимірі тиску й розрідження в топковому просторі, а також тяги в димових трактах теплових агрегатів.

Похиле положення трубки підвищує точність виміру. При цьому вимірюваний тиск у мм. вод. ст. при водяному заповненні визначається по формулі:  $h = ls \sin \alpha$



# Деформаційні манометри

У деформаційних манометрах мірою вимірюваного тиску або розрідження служить величина деформації пружних чутливих елементів у вигляді їх лінійних або кутових переміщень. Як пружні елементи в приладах тиску найчастіше використовують (рисунок) плоскі мембрани (а), гофровані мембрани (б), коробчасті гофровані мембрани (в), сільфони (г), сільфони із циліндричною пружиною (д) і трубчасті пружини (е)



Пружні чутливі елементи

# Характеристики пружнього чутливого елемента

Однієї з основних є залежність лінійного (або кутового) переміщення  $\Delta l$  певної його точки від діючого тиску, тобто  $\Delta l = f(p)$ .

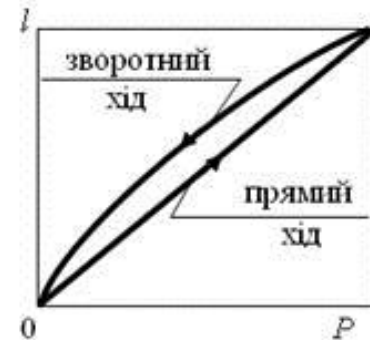
Для забезпечення надійної роботи пружного чутливого елемента необхідно, щоб розмір напруги, що виникає в матеріалі під дією зовнішніх сил, не перевищував границі пружності.

Внаслідок недосконалості пружних властивостей реальних матеріалів від статичної характеристики  $\Delta l = f(p)$  чутливого елемента при збільшенні й зменшенні навантаження в рамках пружних деформацій неоднозначний і створює, так звану петлю гістерезису.

$$\delta = \frac{(\Delta l_1 - \Delta l_2)_{\text{макс}}}{\Delta l_{\text{макс}}} \cdot 100, \quad \%$$

$\Delta l_1 - \Delta l_2$  - максимальна різниця між переміщеннями пружинного елемента при прямому й зворотному вимірі

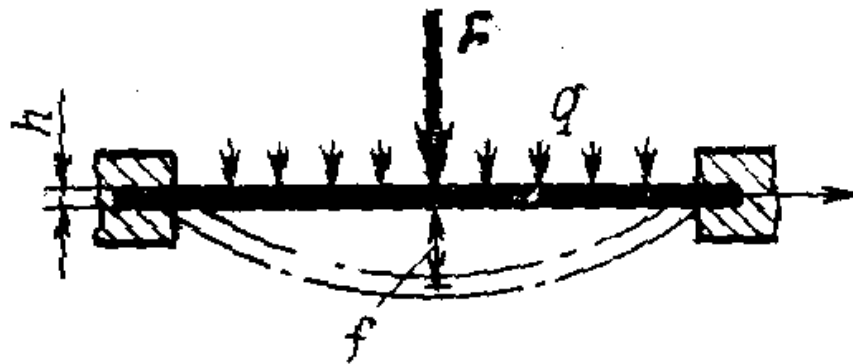
$\Delta l_{\text{макс}}$  - максимальна величина переміщення пружинного елемента при вимірі максимально припустимого тиску для даного пружинного елемента



Петля гістерезису при деформації пружного чутливого елемента

## Плоскі мембрани.

- Плоска мембрана являє собою тонкостінну мембрану постійної товщини, затиснуту по краях. Під дією тиску газу або рідини мембрана прогинається й передає переміщення свого центра через піднімальну систему на стрілку показуючого приладу. Перевагою манометрів із плоскою мембраною є стійкість до вібрацій. Такі манометри застосовуються для виміру тиску не вище 2,5 МПа при похибці від  $\pm 2,5$  до  $\pm 4$  %



## Гофровані мембрани.

- Гофрована поверхня мембрани у вигляді кільцевих хвиль дозволяє одержати лінійну характеристику й значно підвищити надійність роботи мембрани. Найбільше застосування в приладах тиску (тягомірах, напоромірах, дифманометрах) одержали коробчасті мембрани, утворені двома спаями або звареними по зовнішній кромці гофрованими мембранами. Основна похибка приладу становить  $\pm 2,5 \%$ .



## Сильфонні манометри

Сильфон являє собою тонкостінний циліндр, бічна поверхня якого виконана з поперечним гофруванням. Висота сильфона змінюється пропорційно прикладеному тиску або перепаду тисків, при цьому більше значення створюється над сильфоном, а менше – у середині його. Сильфони застосовуються в напоромірах і тягомірах для виміру невеликого тиску до 25 кПа й розрідження до 100 кПа повітря й неагресивних газів. Для збільшення твердості й зменшення впливу нелінійності характеристики усередині сильфона поміщають дротову циліндричну гвинтову пружину. Внаслідок цього вимірюваний тиск урівноважується силою пружної деформації сильфона й гвинтової пружини. Основна похибка цих манометрів становить 1,0...2,5 %.

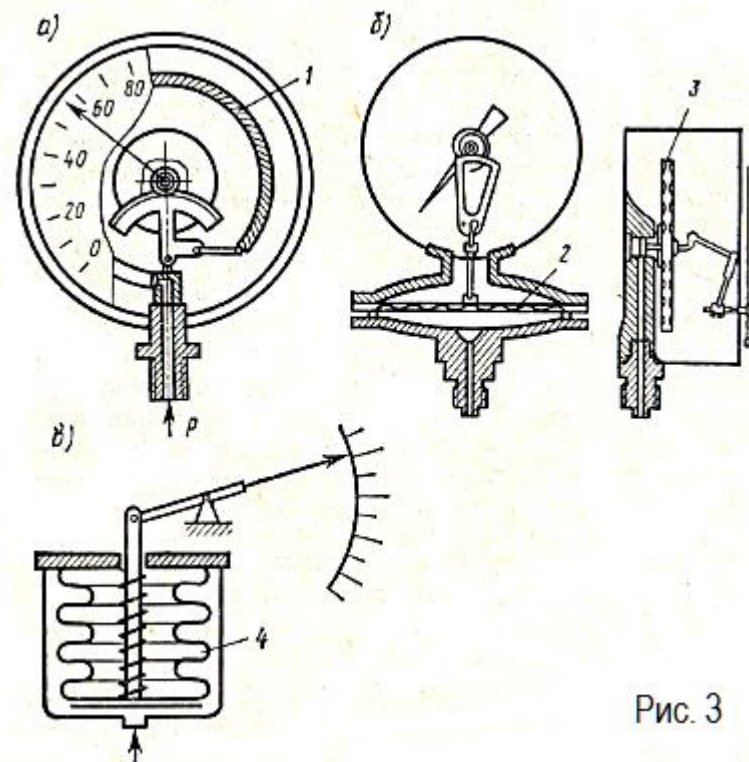


Рис. 3

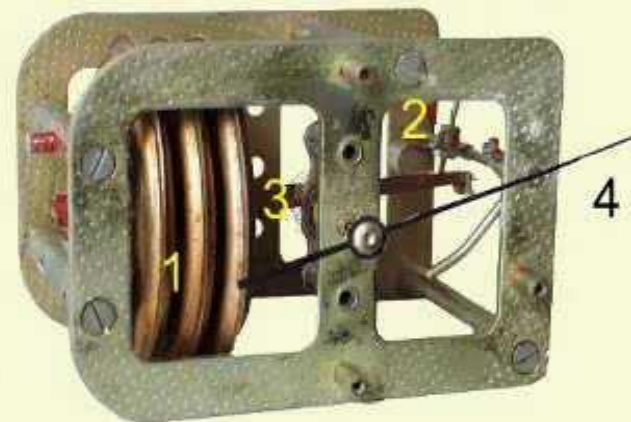
# Барометри

- Барометри призначені для виміру атмосферного тиску, тобто абсолютного тиску, виробленого газовим шаром планети Земля на земну поверхню. Дія барометра заснована на деформації коробчатої або сильфонної мембрани при вимірі атмосферного тиску. Внутрішня порожнина мембран герметична й перебуває під вакуумом.



При зміні тиску коробочка деформується тим більше, чим більший тиск.  
Спеціальний механізм, залежно від деформації, показує тиск повітря.

Більш практичними є барометри-анероїди (безрідинні). У них атмосфера тисне на гофровану коробочку, з якої викачали повітря.



1 - коробочка гофрована.  
2 - скоба-пружина.  
3 - передавальний механізм  
4 - стрілка.



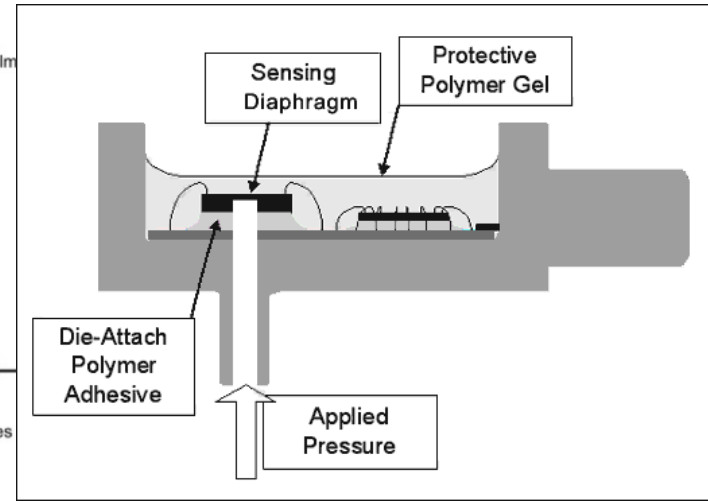
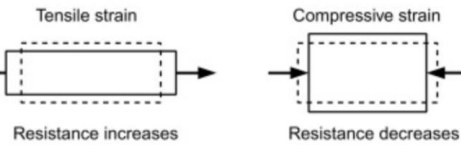
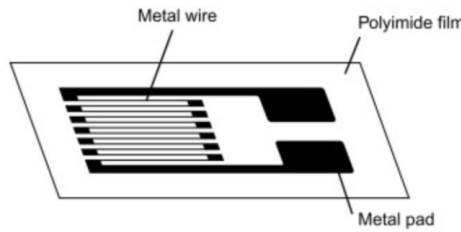
# Трубчасті мембрани

- Прилади із трубчастою пружиною належать до числа найпоширеніших манометрів і вакууметрів. Манометри мають чутливий елемент у вигляді зігнутої по колу на кут  $270^{\circ}$  трубки овального або еліптичного перетину. Один кінець трубки закритий, а до іншого через спеціальний штуцер підводиться вимірюваний тиск. При підвищенні тиску в середині трубки відбувається деформація перетину в напрямку близькому до круглого перетину, і це викликає появу зусиль, які змушують трубку розгинатися. Таким чином, величина переміщення кінця трубки служить мірою вимірюваного тиску.
- Тонкостінні трубчасті пружини застосовують у приладах для виміру вакууметричного тиску до 0,1 МПа й надлишкового тиску до 6 МПа. Для виміру надлишкового тиску від 20 до 160 МПа використовують товстостінні пружини овального перетину.



Рисунок 2.15 – Принципова схема та зовнішній вигляд електрорезистивного манометра типу

# Електричні манометри



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

## Ємнісні манометри

- Схема вимірювального перетворювача тиску, яка оснащена мембраною та ємнісним перетворювачем наведена на рис.

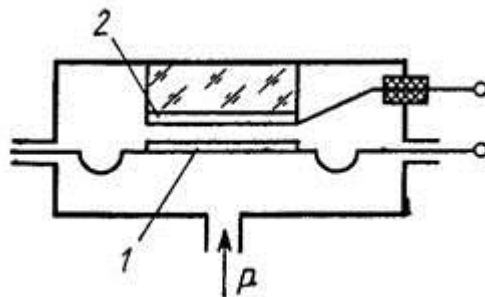


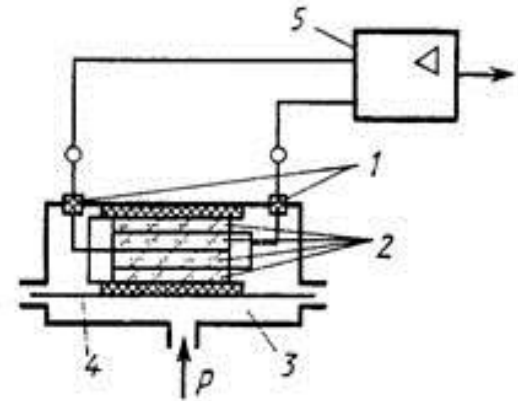
Схема ємнісного перетворювача тиску

- Вимірюваний тиск сприймається металевою мембраною 1, яка є рухомих електродом ємнісного перетворюючого елемента. Нерухома електрод 2 ізолюється від корпусу з допомогою ізоляторів. Залежність ємності  $C$  перетворювального елемента від переміщення  $\Delta$  визначається з (1.3).
- Для перетворення  $C = f(p)$  в сигнал вимірювальної інформації звичайно використовують вимірювальні мости змінного струму (високочастотні) або резонансні  $LC$  -контури. Ємнісні манометри застосовують для вимірювання тиску до 120 МПа. Товщина мембрани дорівнює 0,05...1 мм. Основна похибка вимірювання становить  $\pm (0, 2...5,0 \%)$

## П'єзоелектричні манометри

В основу дії цих перетворювачів покладено перетворення вимірюваного тиску в силу за допомогою деформаційного чутливого елемента і подальшого перетворення цієї сили в сигнал вимірюваної інформації п'єзоелектричним перетворювачем.

Схема п'єзоелектричного перетворювача тиску



Вимірюваний тиск  $p$  перетворюється мембраною 4 в силу, яка викликає стискання стовпчиків кварцевих пластин 2, діаметром 5 мм і товщиною 1 мм.

Електричний заряд  $Q$ , що виникає, через виводи 1 подається на електронний підсилювач 5.

Величина заряду  $Q$  зв'язана з вимірюваним тиском  $p$  залежністю  $Q = kFp$ , де  $k$  - п'єзоелектричний коефіцієнт (для кварца  $k = 2,1 \cdot 10^{-12} \text{ Кл Н/}$ );  $F$  - ефективна площа мембрани. Для зменшення інерційності перетворювача, об'єм камери 3 максимально зменшують. Оскільки частота власних коливань системи «мембрана-кварцеві пластини» складає десятки кілогерц, то вимірювальні перетворювачі цього типу мають високі динамічні характеристики, що обумовлює їх широке застосування при контролі тиску в системах з швидкоплинними процесами. Межа вимірювання тиску такими манометрами становить 2,5...100,0 МПа. Клас точності 1.5; 2,0.

## манометр опору

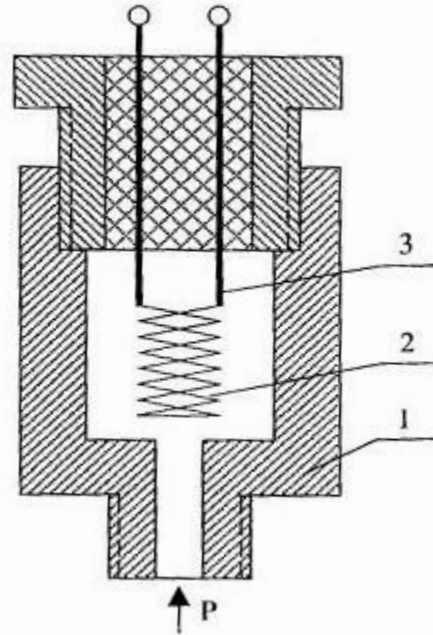


Схема манометру опору

1 – корпус прибора; 2 – манганіновий резистор; 3 – мідний струмовідвід

Чутливий елемент манометра являє собою біфілярну котушку 1 з опором 180-200 Ом із дроту діаметром 0,05 мм. Для виміру опору манганінової котушки застосовують автоматичні мости або потенціометри, якщо вимагаються більш точні виміри. Межі основної припустимої похибки приладу не перевищують 1 %. Манометри опору призначені для виміру надвисоких тисків до 3000 МПа.

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!!!